

从零开始学电子技术丛书

从零开始学 电子测量技术

刘建清 主编
刘汉文 寻立波 鲁金 编著



随书附光盘一张



国防工业出版社
National Defense Industry Press



责任编辑：杨星豪
文字编辑：闫晓春
责任校对：钱辉玲
封面设计：王晓军

xhyang@ndip.cn

xjwang@ndip.cn

从 开始学电子技术丛书

从零开始学电路仿真Multisim与电路设计Protel技术

从零开始学电气控制与PLC技术

从零开始学电子测量技术

从零开始学CPLD和Verilog HDL编程技术

从零开始学单片机C语言

从零开始学单片机技术

从零开始学电路基础

从零开始学元器件识别与检测

从零开始学电动机控制与维修

从零开始学模拟电子技术

从零开始学数字电子技术

◎ 上架建议：电子技术 ◎

<http://www.ndip.cn>

ISBN 7-118-04651-5



9 787118 046519 >



ISBN 7-118-04651-5/TN · 746

定价：25.00 元（含光盘）

从零开始学电子技术丛书

从零开始学电子测量技术

刘建清 主编

刘汉文 寻立波 鲁金 编著

国防工业出版社

·北京·



内 容 简 介

电子测量是电子技术工作者必须掌握的一项基本技术,本书是为使初学者从零开始,快速掌握电子测量技术而编写的。本书以应用与实战为出发点,首先介绍了电子测量的基础知识,然后介绍了许多常用电子测量仪器的基本原理、使用方法与使用技巧,最后介绍了发展前途巨大的虚拟电子测量仪器。

本书附赠光盘一张,提供了大量电子测量仪器的电路图以及常用虚拟电子测量仪器软件的试用版。

本书可供电子工业领域中的技工、工矿企业的技术人员、电气工人、家电维修人员以及无线电爱好者阅读,也可作为中专、中技的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

从零开始学电子测量技术/刘建清主编;刘汉文,寻立波,鲁金编著. —北京:国防工业出版社,2006.8

(从零开始学电子技术丛书)

ISBN 7-118-04651-5

I. 从... II. ①刘... ②刘... ③寻... ④鲁...
III. 电子测量 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 080508 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京四季青印刷厂印刷
新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 字数 293 千字

2006 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 25.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

丛书前言

我们所处的时代是一个知识爆炸的新时代。新产品、新技术层出不穷,电子技术的发展更是日新月异。可以毫不夸张地说,电子技术的应用无处不在,电子技术正在不断地改变着我们的生活,改变着我们的世界。

读者朋友:当你妙趣横生的电子世界发生兴趣时;当你彷徨于就业的关口,想成为电子产业中的一名员工时;当你跃跃欲试,想成为一名工厂的技术革新能手时;当你面对“无所不能”的“单片机”,梦想成为一名自动化高手时;当你的头脑里冒出那么多的奇思妙想,急于把它们应用于或转化为产品时……都是那么急切地想补充自己有关电子技术方面的知识,这时,你首先想到的是找一套适合自己学习的电子技术图书阅读。《从零开始学电子技术丛书》正是为了满足广大读者特别是电子爱好者的实际需要和零起点入门的阅读要求而编著的。

和其他电子技术类图书相比,本丛书具有以下特点:

内容全面,体系完备。本丛书给出了广大电子爱好者学习电子技术的全方位解决方案,既有初学者必须掌握的电路基础、模拟电路和数字电路等基础理论,又有电子元器件检测、电子测量仪器的使用、电路仿真与设计等操作性较强的内容,还有电气控制与PLC、单片机、CPLD等综合应用方面的知识,因此,本丛书内容翔实,覆盖面广。

通俗易懂,重点突出。传统的电子技术图书和教材在介绍电路基础和模拟电子技术等内容时,大都借助高等数学这一工具进行分析,这就给电子爱好者自学电子技术设置了一道门槛,使大多数电子爱好者失去了学习的热情和兴趣。本丛书在编写时,完全考虑到了初学者的需要,不涉及高等数学方面的公式,尽可能地把复杂的理论通俗化和实用化,将烦琐的公式简易化,再辅以简明的分析及典型的实例,从而形成了本丛书通俗易懂的特点。为了满足不同层次读者的需求,本丛书对难点和扩展知识用“*”进行了标注,初学者可跳过此内容。

实例典型,实践性强。本丛书最大程度地强调了实践性,书中给出的例子大都经过了验证,可以实现,并且具有代表性;本丛书中每本书都配有光盘,光盘中收录了书中的实例、常用软件、实验程序和大量珍贵资料,以方便读者学习和使用。

内容新颖,风格活泼。本丛书所介绍的都是电子爱好者最为关心并且在业界获得普遍认同的内容,本丛书的每一分册都各有侧重,又互相补充,论述时疏密结合,重点突出。对于重点、难点和容易混淆的知识,书中还特别进行了标注和提示。

把握新知,结合实际。电子技术发展日新月异,为适应时代的发展,本丛书还对电子技术的新知识做了详细的介绍;本丛书中涉及的应用实例都是编著者开发经验的提炼和总结,相信一定会给读者带来很大的帮助。在讲述电路基础、模拟和数字电子技术时,还

专门安排了计算机辅助软件的仿真实验,实验过程非常接近实际操作的效果,使电子技术的学习变得更为直观,使学习变得更加生动有趣,这可以加深读者对电路理论知识的认识。

总之,对于需要学习电子技术的电子爱好者而言,选择《从零开始学电子技术丛书》不失为一个好的选择。本丛书一定能给你耳目一新的感觉,当你认真阅读之后将会发现,无论是你所读的书,还是读完书的你,都有所不同。

感谢本丛书的策划者——电子科普领域中的知名专家、中国电子学会高级会员刘午平先生,他与我们共同交流,共同探讨,达成了共识,确立了写作方向,并为本丛书的编排、修改和出版做了大量卓有成效的工作,他以丰富的专业知识和认真、敬业的态度为我们所敬佩;感谢山东持恒开关厂总经理陈培军先生和山东金曼克电气集团设计处总工程师高广海先生,他们对本丛书的编写提出了很多建设性的意见和建议,为本丛书的许多实验提供了强有力的支持与帮助,并参与了部分图书的编写工作;感谢网络,本丛书的许多新知识、新内容都是我们通过网络而获得的,我们在写作过程中遇到的许多疑难问题也大都通过网络得以顺利解决,对于这么多乐于助人、无私奉献的站主和作者们,无法在此一一列举,只能道一声“谢谢了!”感谢众多电子报刊、杂志的编辑和作者,他们为本丛书提供了许多有新意、有实用价值的参考文献,使得这套丛书能够别出心裁、与时俱进;感谢国防工业出版社,能与国内一流的出版社合作,我们感到万分的荣幸;感谢其他对本丛书的出版付出过辛勤工作的人士,没有他们的热心与支持,本丛书不知何时才能与读者见面!

最后,祝愿本丛书的每一位读者在学习电子技术的过程中,扬起风帆,乘风破浪!

丛书编者



前 言

电子测量技术是以电子技术为基本手段的一种测量技术,它是测量学和电子学相互结合的产物。掌握电子测量的分析、测量方法,对从事任何专业技术特别是电子技术工作,都能为之奠定坚实的、重要的基础。

本书写作的出发点是不讲过深的理论知识,力求做到理论和实际应用相结合,循序渐进、由浅入深、通俗实用,以指导初学者快速入门。

按照结构清晰、层次分明的原则,本书可分为以下几部分。

第一部分为电子测量基础篇。主要包括本书的第一章。重点介绍了电子测量的意义、特点,电子测量的误差以及测量仪器对测量的影响等内容。

第二部分为常用电子测量仪器篇。主要包括本书的第二章~第七章。重点介绍了万用表、毫伏表、示波器、扫频仪、频谱分析仪、频率计、信号发生器、失真度分析仪、逻辑分析仪、直流电源、万用电桥、高频 Q 表、晶体管特性图示仪的基本组成、原理与使用方法。

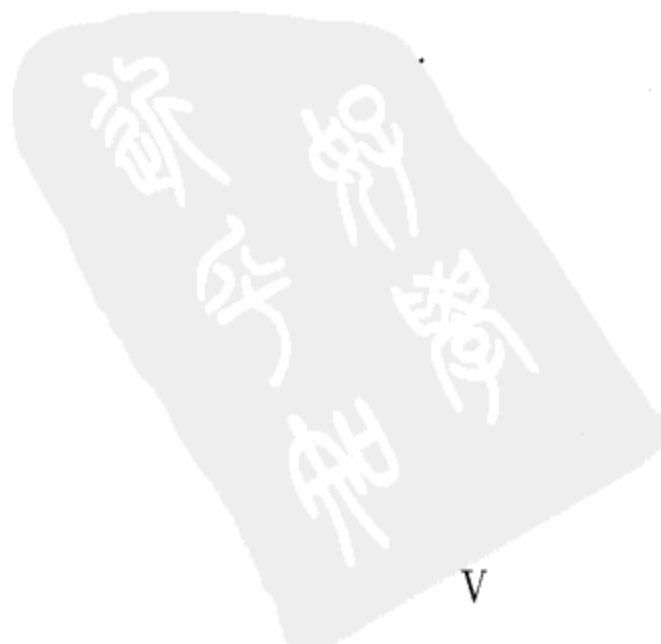
第三部分为虚拟电子测量仪器篇。主要包括本书的第八章。随着计算机的普及,在测量领域掀起了一个虚拟仪器的旋风。在美国 NI 公司提出“软件就是仪器”的口号后,各种虚拟仪器应运而生,加之虚拟仪器价格便宜、功能全面,因此,虚拟仪器很快得到了广大电子爱好者的认可。此部分内容主要介绍了几种常用的虚拟电子测量仪器的使用方法。

在本书的最后,用一些篇幅对常用电子测量仪器进行了简要介绍,以方便读者使用。

本书附赠光盘一张,提供了大量电子测量仪器的电路图以及常用虚拟电子测量仪器软件的试用版。

由于时间仓促,书中错漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者



目 录

第一章 电子测量基础.....	1
第一节 电子测量的意义、特点和内容	1
一、电子测量的意义	1
二、电子测量的特点	1
三、电子测量的内容	2
第二节 常用电子测量仪器.....	2
一、专用仪器	2
二、通用仪器	2
第三节 测量误差.....	3
一、测量误差的来源	3
二、测量误差的分类	4
三、误差的表示方法	5
四、测量结果的处理	6
第四节 测量仪器对测量的影响.....	7
一、测量仪器的阻抗对测量的影响	7
二、仪器的接地对测量的影响	8
第二章 万用表与毫伏表	13
第一节 万用表的分类、特性和选用.....	13
一、万用表的分类.....	13
二、万用表的技术特性.....	13
三、万用表的选用.....	15
第二节 指针万用表的结构、原理与使用.....	16
一、指针万用表的结构.....	16
二、指针万用表的原理.....	18
三、500 型万用表的使用方法	22
四、指针万用表的使用技巧.....	25
五、指针万用表使用注意事项.....	26
第三节 数字万用表的结构与使用	28
一、数字万用表的结构.....	28
二、DT890 数字万用表的使用方法	29
三、数字万用表使用注意事项.....	32
第四节 毫伏表简介	34
一、DA-16FS 型双路晶体管毫伏表的原理	34
二、DA-16FS 型双路晶体管毫伏表的工作特性	34

三、DA-16FS 型双路晶体管毫伏表的使用	35
第三章 电子示波器	38
第一节 概述	38
一、电子示波器的特点	38
二、电子示波器的种类	38
第二节 通用(模拟)单踪示波器介绍	39
一、单踪示波器基本组成	39
二、波形显示原理	41
三、X-Y 显示原理	42
四、BS-7701 单踪示波器介绍	43
第三节 通用(模拟)双踪示波器介绍	44
一、基本结构	44
二、双踪示波器的工作方式	46
三、Z 轴电路	46
四、典型双踪示波器介绍	47
第四节 通用(模拟)示波器的基本测量方法	65
一、示波器的使用	65
二、示波器的基本测量方法	67
第五节 数字存储示波器简介	71
一、数字存储示波器概述	71
二、数字存储示波器的特点	71
三、数字存储示波器的组成	72
四、数字存储示波器的显示方式	74
五、数字存储示波器使用必须注意的问题	74
第四章 扫频仪、频谱分析仪和频率计	77
第一节 扫频仪	77
一、扫频仪的主要组成	77
二、扫频仪的基本原理	78
三、BT-3C 扫频仪的使用	79
四、BT-8 扫频仪的使用	82
五、扫频仪的应用	84
第二节 频谱分析仪	86
一、频谱分析仪的特点和性能指标	86
二、频谱分析仪的工作原理	87
三、安泰 AT5010 频谱分析仪的使用方法	88
第三节 数字频率计	91
一、LT9801 数字频率计的特点	91
二、LT9801 数字频率计的使用方法	91
第五章 电子元器件测量仪器	92

第一节 万用电桥	92
一、电桥的分类及平衡条件	92
二、万用电桥的组成和工作原理	93
三、QS18A 型万用电桥的使用	94
第二节 高频 Q 表	96
一、高频 Q 表的组成	96
二、QBG-3 型高频 Q 表的使用	97
第三节 晶体管特性图示仪	99
一、JT-1 型晶体管特性图示仪的组成	99
二、JT-1 型晶体管特性图示仪的基本工作原理	100
三、JT-1 型晶体管特性图示仪旋钮的作用	100
四、JT-1 型晶体管特性图示仪的使用方法	103
第六章 信号发生器	105
第一节 低频信号发生器	105
一、低频信号发生器的基本组成	105
二、XD-22 型低频信号发生器的使用	106
第二节 高频信号发生器	107
一、高频信号发生器的基本组成	107
二、XFG-7 型高频信号发生器的使用	108
三、应用举例	111
第三节 函数信号发生器	112
一、岩崎 GFC8255A 函数发生器功能和性能指标	112
二、岩崎 GFC8255A 函数发生器的使用	113
第四节 彩色电视信号发生器	115
一、AV 信号输出的选择	115
二、Y/C 信号输出的选择	116
三、应用举例	117
第七章 失真度测量仪、逻辑分析仪和直流稳压电源	120
第一节 失真度测量仪	120
一、失真度测量仪主要组成	120
二、BS1 型失真度测量仪的技术性能	121
三、BS1 型失真度测量仪的使用方法	122
第二节 逻辑分析仪	122
一、逻辑分析仪的特点和分类	122
二、逻辑分析仪的工作原理	123
三、逻辑分析仪的基本应用	125
第三节 直流稳压电源	126
一、直流稳压电源的分类和性能指标	126
二、DWZ-301 直流稳压电源的使用	127

第八章 虚拟电子测量仪器	128
第一节 虚拟仪器概述	128
一、什么是虚拟仪器	128
二、虚拟仪器的组成	128
三、虚拟仪器的分类	129
四、虚拟仪器的展望	130
第二节 虚拟仪器软件 AudioSCSI	130
一、基本原理	130
二、准备工作	131
三、基本操作	133
第三节 虚拟仪器软件 FlashDSO II	136
一、基本工作原理	136
二、系统安装	137
三、界面组成	140
第四节 电视机示波器	144
一、基本原理	144
二、系统组成	144
三、准备工作	145
四、基本操作	145
第五节 虚拟声卡仪器	146
一、性能指标	146
二、输入输出的连接	149
三、软件的安装	150
四、示波器的使用	151
五、频谱分析仪的使用	159
六、信号发生器的使用	162
附录 常用电子测量仪器简介	165
一、电流电压表	165
二、示波器	168
三、频谱分析仪	181
四、扫频仪	182
五、逻辑分析仪	183
六、信号发生器	185
七、晶体管图示仪	190
八、频率计	191
九、稳压电源	193
十、音频分析和失真度测试仪	193
十一、其他	195
参考文献	198

第一章 电子测量基础

随着测量学的发展和无线电电子学的应用,诞生了以电子技术为手段的电子测量技术。本章主要介绍电子测量的意义、特点和内容,电子测量误差和常用电子测量仪器等内容。

第一节 电子测量的意义、特点和内容

一、电子测量的意义

测量是人类认识自然和改造自然的重要手段之一。通过测量,人类对客观事物获得了数量上的概念。为了确定被测量的量值,要把它与标准量进行比较,所获得的测量结果的量值包括两部分,即数值(大小及符号)和用于比较的标准量的单位名称。如某电阻为 200Ω ,某线路流过的电流为 1A ,某电压为 -6V 等,其中 200 、 1 、 6 为数值, Ω 、 A 、 V 为单位。

电子测量是测量学的一个重要分支。从广义上讲,凡是利用电子手段进行的测量均属于电子测量的范畴。在现代工业中,从零件的加工到机器的装配、调整,都离不开电子测量。没有精确的电子测量,就无法保证产品的质量。在无线电设备中,电子测量更为重要,没有精确的测量仪器和正确的测试方法,设备的调整就没有依据,也就无法进行设备的定度。

二、电子测量的特点

与其他测量相比,电子测量具有以下几个明显的特点。

1. 测量频率范围宽

除测量直流外,还可测量交流。其频率范围低至 10^{-6}Hz ,高达 10^{12}Hz ,而且随着电子技术的发展,目前还在向着更高频段发展。

2. 量程范围广

量程是测量范围的上限值与下限值之差。由于被测量的数值相差很大,因而要求测量仪器具有足够宽的量程。如数字万用表对电阻测量的范围小到 $10^{-5}\Omega$,大到 $10^8\Omega$,量程达到 13 个数量级,而数字式频率计的量程可达到 17 个数量级。

3. 测量准确度高

电子测量的准确度已达到相当高的水平。例如,对频率和时间测量时,由于采用原子频标和原子秒作为基准,可以使测量准确度达到 $10^{-13}\sim 10^{-14}$ 的数量级。这是目前在测量准确度方面达到的最高指标。

4. 测量速度快

电子测量是通过电子运动和电磁波传播进行工作的,具有其他测量方法无法类比的高速度。像卫星、宇宙飞船等各种航天器的发射和运行,没有快速、自动化的测量与控制就无法实现。

5. 易于实现遥测

电子测量可以通过各种类型的传感器实现遥测、遥控。例如,对于遥远距离或环境恶劣,人们不便接触或无法到达的区域(如人造卫星、深海、地下、核反应堆内等),可通过传感器或电磁波、光、辐射等方式进行测量。

6. 易于实现测量过程的自动化和测量仪器微机化

由于大规模集成电路和微型计算机的应用,使电子测量出现了崭新的局面。例如,在测量过程中能够实现程控、遥控、自动转换量程、自动调节、自动校准、自动诊断故障和自动恢复,对于测量结果可进行自动记录、自动进行数据运算、分析和处理。

由于电子测量技术具有一系列优点,而被广泛应用于科学技术的各个领域。

三、电子测量的内容

电子测量的内容主要包括以下几方面。

(1) 电能量的测量。如电压、电流、电功率的测量。

(2) 电路元器件参数的测量。如电阻、电感、电容、阻抗、品质因数等元件参数、晶体管参数和集成电路参数的测量。

(3) 电信号特征的测量。如信号的波形和失真度、频率、周期、时间、相位差、脉冲参数和调制度的测量。

(4) 电路参数的测量。如衰减、增益、通频带、灵敏度、集成电路参数的测量。

(5) 特性曲线的显示。如频率特性、器件特性等的显示。

电子测量除具体运用电子科学的原理、方法和设备对各种电量、电信号及电路元器件的特性和参数进行测量外,还可应用传感技术对非电量进行测量,而且更加方便、快捷、准确,是用其他测量方法所不能替代的。

第二节 常用电子测量仪器

电子测量仪器一般分为专用仪器和通用仪器两大类。

一、专用仪器

专用仪器是指各个专业领域中测量特殊参量的仪器。例如,机械部门的超声波探伤,医疗部门的超声波诊断、频谱治疗仪等。

二、通用仪器

通用仪器是为了测量一个或某一些基本电参数而设计的,它能用于各种电子测量,例如电子示波器即属于这一类。

通用仪器按照功能,可作如下分类。

1. 信号发生器

信号发生器主要用来提供各种所需的信号。根据用途的不同,有各种波形、各种频率和各种功率的信号发生器。例如,低频信号发生器、调频调幅信号发生器、脉冲信号发生器、扫频信号发生器、函数信号发生器等。

2. 信号分析仪器

信号分析仪器主要用来观测、分析和记录各种电量的变化,有各种示波器、波形分析仪和频谱分析仪。

3. 电平测量仪器

电平测量仪器主要用于测量电压、电流等,如电流表、电压表、电平表和万用表。

4. 频率、时间和相位测量仪器

频率、时间和相位测量仪器主要用来测量电信号的频率、时间间隔和相位。这类仪器有各种频率计、相位计、波长表等。

5. 网络特性测量仪

网络特性测量仪有阻抗测试仪、频率特性测试仪及网络分析仪等,主要用来测量电气网络的各种特性。这些特性主要是指频率特性、阻抗特性、功率特性等。

6. 电子元器件测试仪

电子元器件测试仪主要测量各种电子元器件的各种电参数。根据测试对象的不同,可分为晶体管测试仪(图示仪)、集成电路(模拟、数字)测试仪和电路元件(电阻、电感、电容)测试仪等。

7. 电波特性测试仪

电波特性测试仪主要是指用于对电波传播、干扰强度等参量进行测量的仪器,如测试接收机、场强计、干扰测试仪等。

8. 逻辑分析仪

逻辑分析仪是专门用于分析数字系统的数据域测量仪器。利用它对数字逻辑电路和系统在实时运行过程中的数据流或事件进行记录和显示,并通过各种控制功能实现对数字系统的软、硬件故障分析和诊断。面向微处理器的逻辑分析仪,则用于对微处理器及微型计算机的调试和维护。

9. 辅助仪器

辅助仪器主要用于配合上述各种仪器对信号进行放大、检波、隔离、衰减,以便使这些仪器更充分地发挥作用。各种交/直流放大器、选频放大器、检波器、衰减器、记录器及交直流稳压电源均属于辅助仪器。

第三节 测量误差

一、测量误差的来源

利用任何测量仪器进行测量,总存在着误差。即测量结果总不可能准确地等于被测量的真值,而是它的近似值。

所谓真值就是真实值,是利用理想的、无误差的仪器进行测量而得到的数值。但由于

人们对客观世界认识的局限性,例如,由于测量仪器本身固有误差、测量方法的不完善、环境的影响、人们感觉器官的限制或测试人员的疏忽等原因,不论采用什么方法测量一个量,在测量结果中总不可避免地带来误差,即测量结果偏离真实值。

误差是各种综合因素作用的结果,通常把它的来源大致分为 5 大类。

1. 仪器误差

所谓仪器误差,是指所使用的测试装置或仪器仪表本身不准确而引起的误差。例如,平时所使用的 0.5 级仪表,当它的读数在满刻度附近时,本身允许的固有误差在 $\pm 0.5\%$ 以内,所以测量结果的误差可能达到 $\pm 0.5\%$ 。

2. 使用误差

使用误差又称操作误差,是指在使用仪器过程中,由于安装、调节、布置、使用不当所引起的误差。例如,把规定应垂直安放的仪器水平放置;接线太长或未考虑阻抗匹配;未按操作规程进行预热、调节、校准、测量等,都会产生使用误差。

3. 人身误差

人身误差是指由于人的感觉器官和运动器官不完善所产生的误差。对于某些需借助于人耳、人眼来判断结果的测量以及需进行人工调谐等的测量工作,均会产生人身误差。例如,有的测试人员在读取仪表的指示数时,总是读得偏高或偏低;有的实验人员在启动某一信号或开关时,在时间上总是有些超前或滞后等。

4. 环境误差

环境误差是指仪器由于受到外界温度、湿度、气压、电磁场、机械振动、噪声、光照、放射性等的影响所产生的误差。

5. 方法误差

这种误差是由于测试方法不完善或由于所依据的计算公式不完善所引起的。例如,用电流表、电压表测量电阻时,可采用图 1-1(a)或图 1-1(b)两种测量电路。根据 $R=E/I$,求得被测电阻值。但是,对于图 1-1(a)测量电路来说,由于电流表的测量结果忽略了电压表内阻的分流作用,从而使求得的电阻值产生一定的误差。同理,当用图 1-1(b)电路来测量电阻上的电压、电流时,由于电压表的测量结果忽略了电流表内阻的分压作用的影响,从而使求得的电阻值亦不很准确。因此,只有用图 1-1(a)中测得的电压值和图 1-1(b)中测得的电流值求得的电阻值才是准确的,才克服了方法误差。

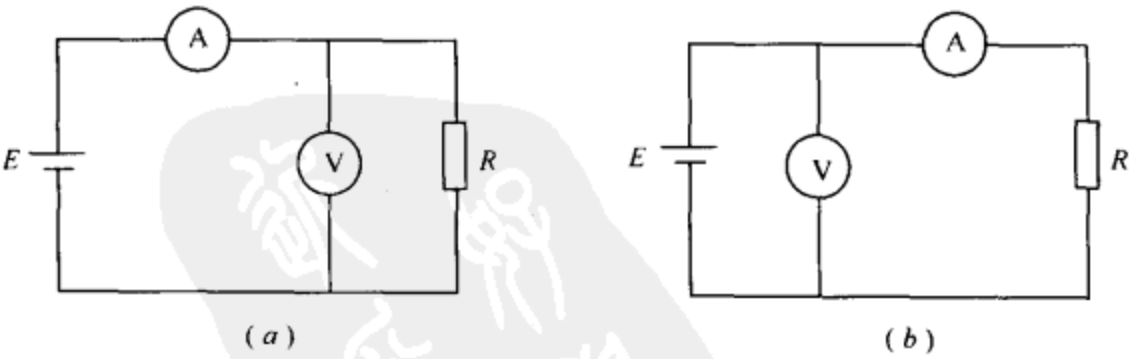


图 1-1 用电压表、电流表测量电阻

二、测量误差的分类

测量误差按性质和特点可分为系统误差、随机误差和粗差 3 大类。

1. 系统误差

系统误差是指在相同条件下重复测量同一量时,误差的大小和符号保持不变,或按照一定的规律变化的误差。系统误差一般可通过实验方法或分析方法,查明其变化规律及产生原因后,可以减少或消除。电子技术实验中,系统误差常来源于测量仪器的调整不当和使用方法不当。

2. 随机误差

在相同条件下多次重复测量同一量时,误差大小和符号无规律地变化的误差称为随机误差(偶然误差)。随机误差不能用实验方法消除。但从随机误差的统计规律中可了解它的分布特性,并能对其大小及测量结果的可靠性作出估计,或通过多次重复测量,然后取其中算术平均值来达到目的。

3. 粗差

这是一种过失误差。这种误差是由于测量者对仪器不了解、粗心,导致读数不正确而引起的,测量条件的突然变化也会引起粗差。含有粗差的测量值称为坏值或异常值。必须根据统计检验方法的某些准则去判断哪个测量值是坏值,然后去除。

三、误差的表示方法

误差可以用绝对误差和相对误差来表示。

1. 绝对误差

设被测量的真值为 A_0 , 测量仪器的示值为 X , 则绝对值为

$$\Delta X = X - A_0$$

在某一时间及空间条件下,被测量的真值虽然是客观存在的,但一般无法测得,只能尽量逼近它。故常用高一级标准测量仪器的测量值 A 代替真值 A_0 , 则

$$\Delta X = X - A$$

2. 相对误差

绝对误差值的大小往往不能确切地反映出被测量的准确程度。例如,测 100V 电压时, $\Delta X_1 = +2V$, 在测 10V 电压时, $\Delta X_2 = -0.5V$, 虽然 $\Delta X_1 > \Delta X_2$, 可实际 ΔX_1 只占被测量量的 2%, 而 ΔX_2 却占被测量量的 5%。显然, 后者的误差对测量结果的影响相对较大。因此, 工程上常采用相对误差来比较测量结果的准确程度。

相对误差又分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。

(1) 实际相对误差。实际相对误差是用绝对误差 ΔX 与被测量的实际值 A 的比值的百分数来表示的相对误差, 记为

$$r_A = \frac{\Delta X}{A} \times 100\%$$

(2) 示值相对误差。示值相对误差是用绝对误差 ΔX 与仪器给出值 X 的百分数来表示的相对误差, 即

$$r_X = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

(3) 满度相对误差。满度相对误差是用绝对误差 ΔX 与仪器的满刻度值 X_m 之比的百分数来表示的相对误差, 即

$$r_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\%$$

电工仪表的准确度等级就是由 r_m 决定的,如 1.5 级的电表,表明 $r_m \leq \pm 1.5\%$ 。我国电工仪表按 r_m 值共分 7 级,即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。

四、测量结果的处理

测量结果通常用数字或图形表示。

1. 测量结果的数据处理

1) 有效数字

由于存在误差,所以测量资料总是近似值,它通常由可靠数字和欠准数字两部分组成。例如,由电流表测得电流为 12.6mA,这是个近似数,12 是可靠数字,而末位 6 为欠准数字,即 12.6 为 3 位有效数字。有效数字对测量结果的科学表述极为重要。

对有效数字的正确表示,应注意以下几点。

(1)与计量单位有关的“0”不是有效数字,例如,0.054A 与 54mA 这两种写法均为 2 位有效数字。

(2)小数点后面的“0”不能随意省略,例如,18mA 与 18.00mA 是有区别的,前者为 2 位有效数字,后者则是 4 位有效数字。

(3)对后面带“0”大数目数字,不同写法其有效数字位数是不同的,例如,3000 如写成 30×10^2 ,则成为 2 位有效数字;若写成 3×10^3 ,则成为 1 位有效数字;如写成 3000 ± 1 ,就是 4 位有效数字。

(4)如已知误差,则有效数字的位数应与误差所在位相一致,即有效数字的最后一位数应与误差所在位对齐。例如,仪表误差为 $\pm 0.02V$,测得数为 3.2832V,其结果应写为 3.28V。因为小数点后面第 2 位“8”所在位已经产生了误差,所以从小数点后面第 3 位开始,后面的“32”已经没有意义了,写结果时应舍去。

(5)当给出的误差有单位时,则测量资料的写法应与其一致。例如,频率计的测量误差为正负数千赫,其测得某信号的频率为 7100kHz,可写成 7.100MHz 和 $7100 \times 10^3 \text{ Hz}$,若写成 7100000Hz 或 7.1MHz 是不行的。因为后者的有效数字与仪器的测量误差不一致。

2) 数据舍入规则

(1)遇到大于 5 的数,向前位入 1。

(2)遇到小于 5 的数,舍去。

(3)遇到等于 5 的数,有以下两种情况。

①若 5 后面有数字,则舍 5 入 1。

②若 5 后面无数字或为 0 时,当 5 之前是奇数,则舍 5 入 1;是偶数,则舍 5 不入。

例如,以下数字均保留小数点后一位有效数字。

25.14 → 25.1

11.150 → 11.2

22.66 → 22.7

14.85 → 14.8

10.253→10.3

在测量中,为了提高测量的可靠性,便于复查数据和进行计算,一般都规定了必须保留的有效数字的位数。

2. 图解处理

在分析两个(或多个)物理量之间的关系时,用曲线表示比用数字、公式表示常常更形象和直观。因此,测量结果常要用曲线来表示。在实际测量过程中,由于各种误差的影响,测量数据将出现离散现象,如将测量点直接连接起来,将不是一条光滑的曲线,而是呈折线状。但应用有关误差理论,可以把各种随机因素引起的曲线波动抹平,使其成为一条光滑均匀的曲线。

第四节 测量仪器对测量的影响

一、测量仪器的阻抗对测量的影响

1. 测量仪器和被测电路并联

以用示波器或数字电压表测量电路的内部电压为例,在图 1-2 中,被测电路的输出阻抗为 Z_s ,内部电压为 U 。用输入阻抗为 Z_m 的示波器或者数字电压表测量时,测量点 A、B 间的电压为 U' 。

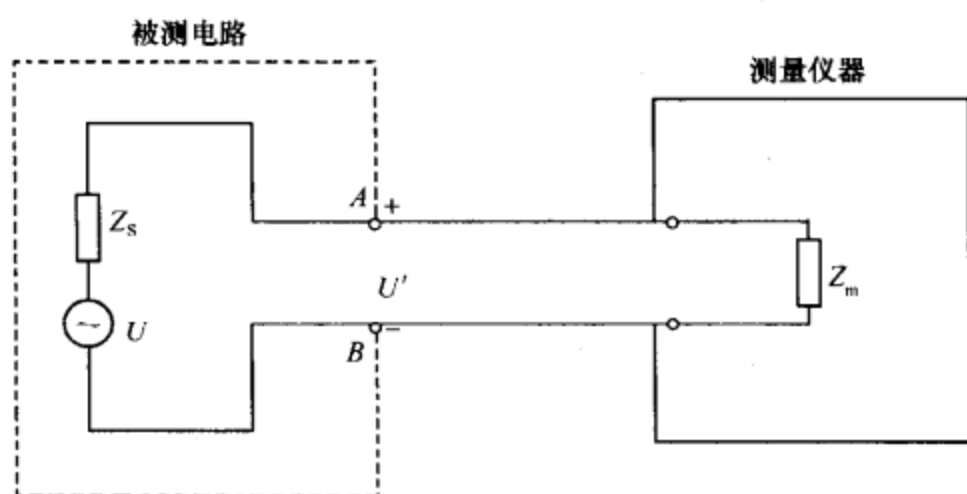


图 1-2 测量仪器和被测电路并联

当 $Z_m \gg Z_s$ 时, $U' \approx U$, 此时误差非常小。如果 $Z_m = Z_s$, $U' = U/2$, 指示值为实际电压的 $1/2$ 。因此,在这种情况下,必须使测量仪器的输入阻抗比被测电路的输出阻抗大很多。

另外,一般 Z_m 和 Z_s 是频率的函数(通常多是频率越高,阻抗越低),尤其在高频测量时必须注意这一点。

2. 测量仪器和被测电路串联

测量电流时,测量仪器和被测电路串联,如图 1-3 所示。

若 $Z_m \gg Z_s$, 则 $I' \approx I$, 测量值近于真值。如果 $Z_m = Z_s$, 则 $I' = I/2$, 测量指示值为真值的 $1/2$ 倍。因此,在这种情况下,测量仪器的输入阻抗应远小于被测电路的输出阻抗。由此可见,如果忽略了测量仪器的阻抗,会对结果产生较大影响,实验中应给予足够的重视。

3. 阻抗匹配

用信号发生器进行测量时,如图 1-4 所示,当被测电路的输入阻抗 Z_m 和信号发生器的输出阻抗 Z_s 相等时,称为阻抗匹配,匹配的目的在于使负载 Z_m 上得到最大功率,特别在高频电路中,此种匹配还为了在负载端不产生反射。

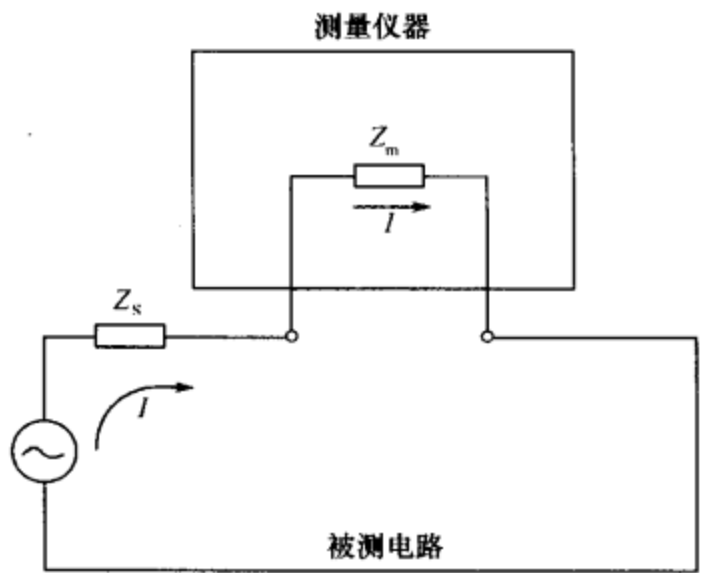


图 1-3 测量仪器和被测电路串联

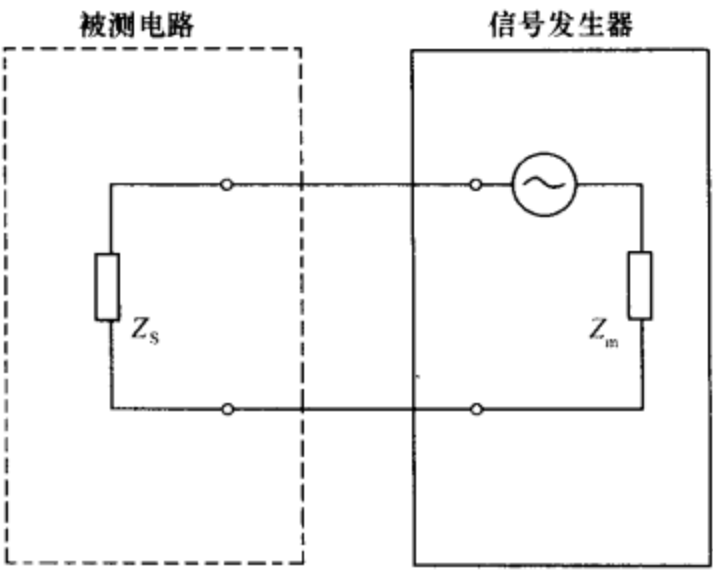


图 1-4 信号发生器与被测电路的连接

二、仪器的接地对测量的影响

一般电子技术中的接地有两种含义。第一种含义是指接真正的大地,即与地球保持等电位,而且常常局限于所在实验室附近的大地。对于交流供电电网的地线,通常是指三相电力变压器的中线(又称零线),它是在发电厂接大地。第二种含义是指接电子测量仪器、设备、被测电路等的公共连接点。这个公共连接点通常与机壳直接连接在一起,或通过一个大电容(有时还并联一个大电阻——有形或无形的)与机壳相连(这在交流意义上也相当于短路)。因此,至少在交流意义上,可以把一个测量系统中的公共连接点,即电路的地线与仪器或设备的机壳看做同义语。

研究接地问题应包括两方面的内容:保证实验者人身安全的安全接地和保证正常实验、抑制噪声的技术接地。

1. 安全接地

绝大多数实验室所用的测量仪器和设备都由 50Hz, 220V 的交流电网供电,供电线路的中线(零线)已经在发电厂用良导体接大地,另一根为相线(又称为火线)。如果仪器或设备长期处于湿度较高的环境或长期受潮未烘烤、变压器质量低劣等,变压器的绝缘电阻就会明显下降。通电后,如人体接触机壳就有可能触电。为了防止因漏电使仪器外壳电位升高,造成人身事故,应将仪器外壳接大地。

比较安全的办法是采用三孔插座,如图 1-5 所示。

三孔插头中较粗的一根插头应与仪器或设备的机壳相连,另外两根较细的插头分别与仪器或设备的电源变压器的初级线圈的两端相连。利用如图 1-5 中所示的电源插接方式,就可以保证仪器或设备的机壳始终与实验室大地处于同电位,从而避免了触电事故。如果电子仪器或设备没有三孔插头,也可以用导线将仪器或设备的机壳与实验室大地相

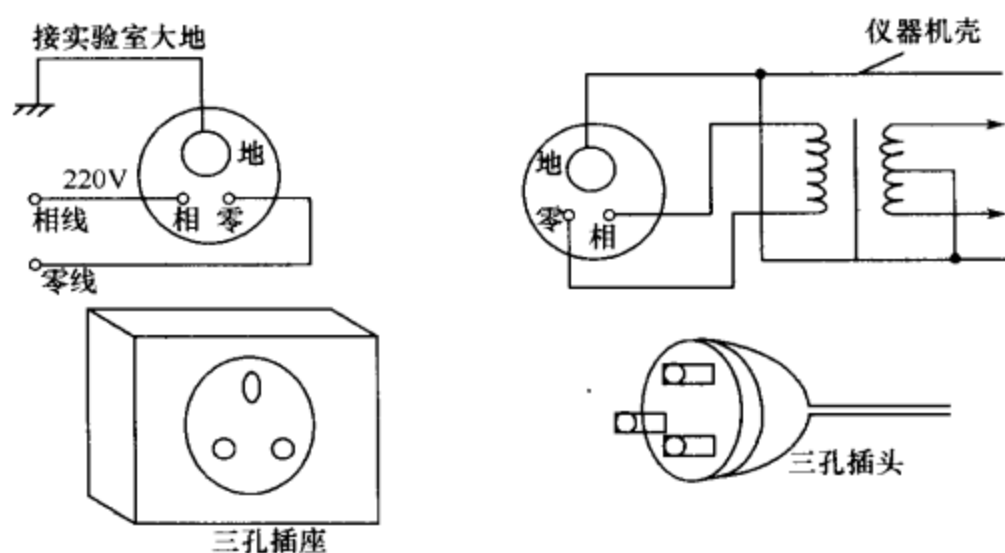


图 1-5 利用三孔插座进行安全接地

连。

重点提示 三孔插座中间较粗的插孔与本实验室的地线(实验室的大地)相接,另外两个较细的插孔,一个接 220V 相线(火线),另一个接电网零线(中线),由于实验室的地线与电网中线的实际节点不同,二者之间存在一定的地电阻 R_d (这个电阻还随地区、距离、季节等变化,一般是不稳定的),如图 1-6 所示。

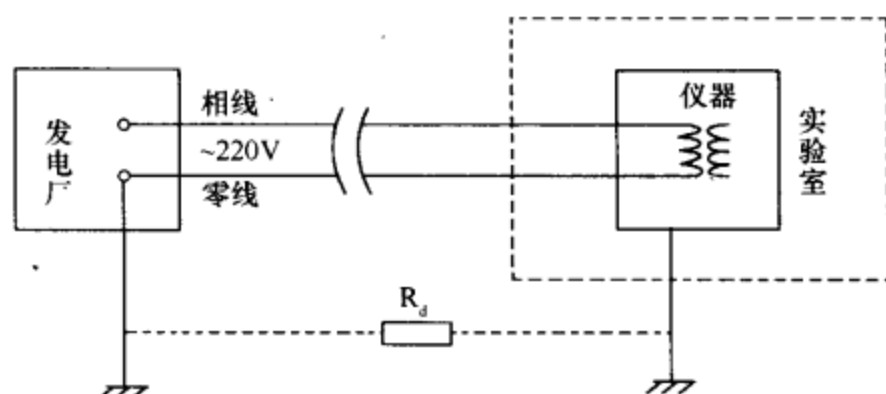


图 1-6 实验室的地线与电网电线间的电阻

电网零线与实验室大地之间由于存在沿线分布的大地电阻,因此不允许把电网零线与实验室地线相连。否则,零线电流会在大地电阻 R_d 上形成一个电位差。同样道理,也不能用电网零线代替实验室地线。实验室地线是将大的金属板或金属棒深埋在实验室附近的地下(并用撒食盐等办法来减小接地电阻),然后用粗导线与之焊牢再引入实验室,分别接入各电源插座的相应位置。

2. 技术接地

1) 接地不良引入干扰

在电子电路实验中,由信号源、被测电路和测试仪器所构成的测试系统必须具有公共的零电位线(即接地的第二种含义),被测电路、测量仪器的接地除了保证人身安全外,还可防止干扰或感应电压窜入测量系统或测量仪器形成相互间的干扰,以及消除人体操作的影响。如果接地不当,可能会产生实验者所不希望的结果。

例如,如图 1-7 所示为用晶体管毫伏表测量信号发生器输出电压,因未接地或接地不良引入干扰的示意图。

图中,C1、C2 分别为信号发生器和晶体管毫伏表的电源变压器初级线圈对各自机壳

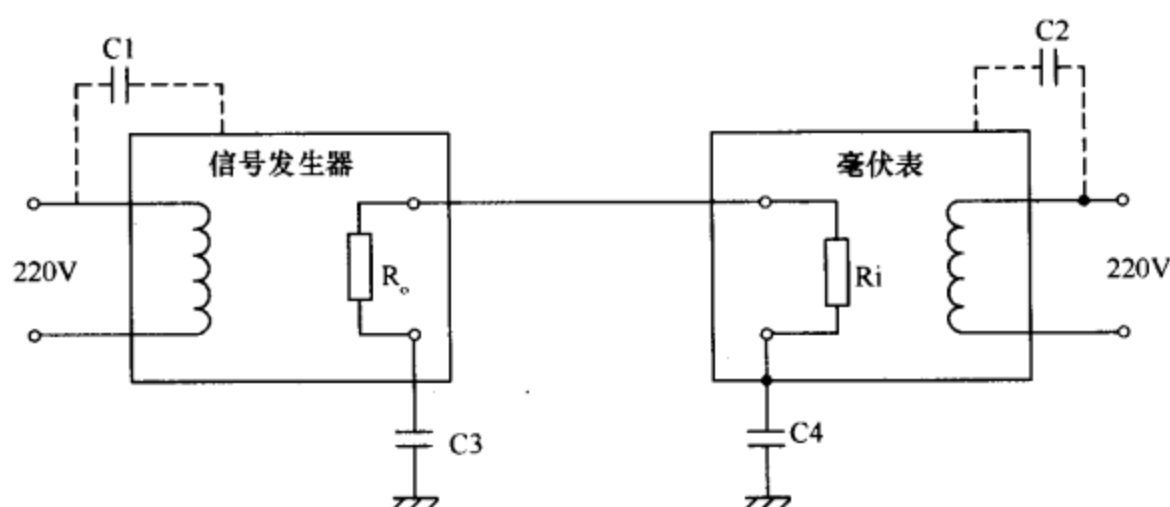


图 1-7 接地不良引入干扰

(地线)的分布电容, C_3 、 C_4 分别为信号发生器和晶体管毫伏表的机壳对大地的分布电容。由于图中晶体管毫伏表和信号发生器的地线没有相连, 因此实际到达晶体管毫伏表输入端的电压为被测电压 U_x 与分布电容 C_3 、 C_4 所引入的 50Hz 干扰电压之和, 由于晶体管毫伏表的输入阻抗很高(兆欧级), 故加到它上面的总电压可能很大而使毫伏表超负荷, 表现为在小量程挡表头指针超量程而打表。

如果将图 1-7 中的晶体管毫伏表改为示波器, 则会在示波器的荧光屏上看到如图 1-8(a)所示的干扰电压波形, 将示波器的灵敏度降低, 可观察到如图 1-8(b)所示的一个低频信号叠加一个高频信号的信号波形, 并可测出低频信号的频率为 50Hz。

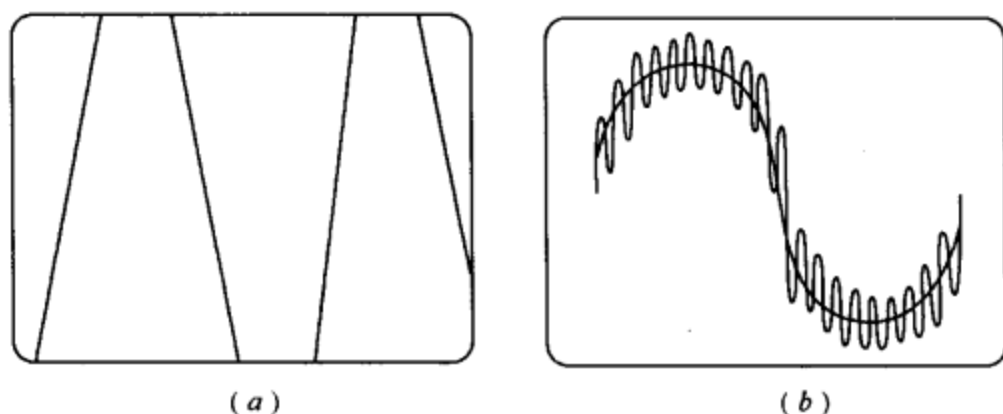


图 1-8 示波器观测 50Hz 干扰信号波形

如果将图 1-7 中信号发生器和晶体管毫伏表的地线相连(机壳)或两地线(机壳)分别接大地, 干扰就可消除。因此, 对高灵敏度、高输入阻抗的电子测量仪器应养成先接好地线再进行测量的习惯。

在实验过程中, 如果测量方法正确, 被测电路和测量仪器的工作状态也正常, 而得到的仪器读数却比预计值大得多或在示波器上看到如图 1-8 所示的信号波形, 那么, 这种现象很可能就是地线接触不良造成的。

2) 仪器信号线与地线接反引入干扰

有的实验者认为, 信号发生器输出的是交流信号, 而交流信号可以不分正负, 所以信号线与地线可以互换使用, 其实不然。

如图 1-9 所示, 用示波器观测信号发生器的输出信号, 将两个仪器的信号线分别与对方的地线(机壳)相连, 将信号发生器和示波器的地线(机壳)相连或两地线(机壳)分别与

实验室的大地相接,那么,在示波器的荧光屏上就观测不到任何信号波形,信号发生器的输出端被短路。

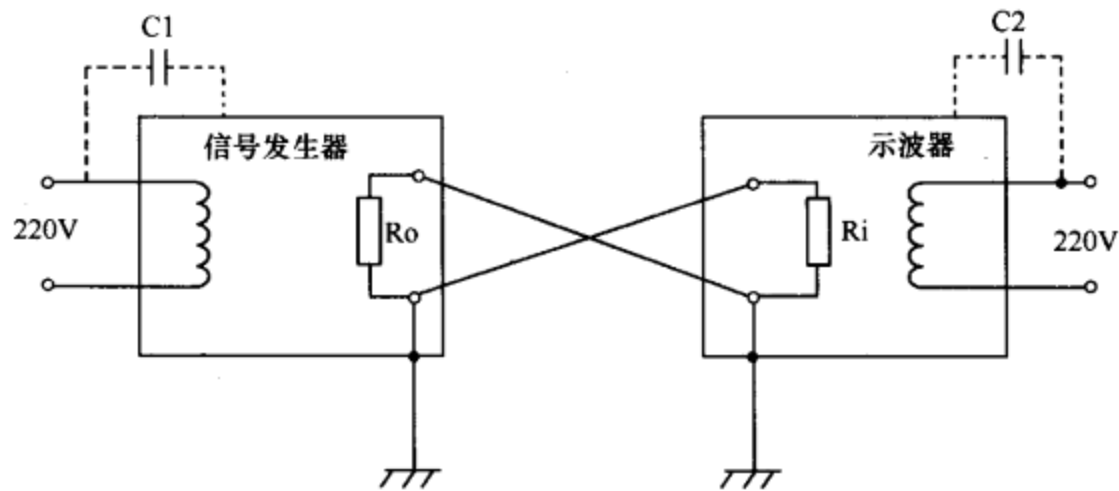


图 1-9 仪器信号线与地线接反引入干扰

如果信号发生器和示波器的地线(机壳)不与大地相连,在示波器荧光屏上将看到信号波形叠加有 50Hz 干扰信号。

3)高输入阻抗仪表输入端开路引入干扰

以示波器为例来说明这个问题。如图 1-10(a)所示,C1、C2 分别为示波器输入端对电源变压器初级线圈和大地的分布电容,C3、C4 分别为机壳对电源变压器初级线圈和大地的分布电容。此电路可等效为如图 1-10(b)所示电路,可见,这些分布参数构成一个桥路,当 $C1C4=C2C3$ 时,示波器的输入端无电流流过。但是,对于分布参数来说,一般不可能满足 $C1C4=C2C3$,因此示波器的输入端就有 50Hz 的市电电流流过,荧光屏上就有 50Hz 交流电压信号显示。如果将示波器换成晶体管毫伏表,毫伏表的指针就会指示出干扰电压的大小。正是由于这个原因,毫伏表在使用完毕后,必须将其量程旋钮置 3V 以上挡位,并使输入端短路,否则,一开机,毫伏表的指针会出现打表现象。

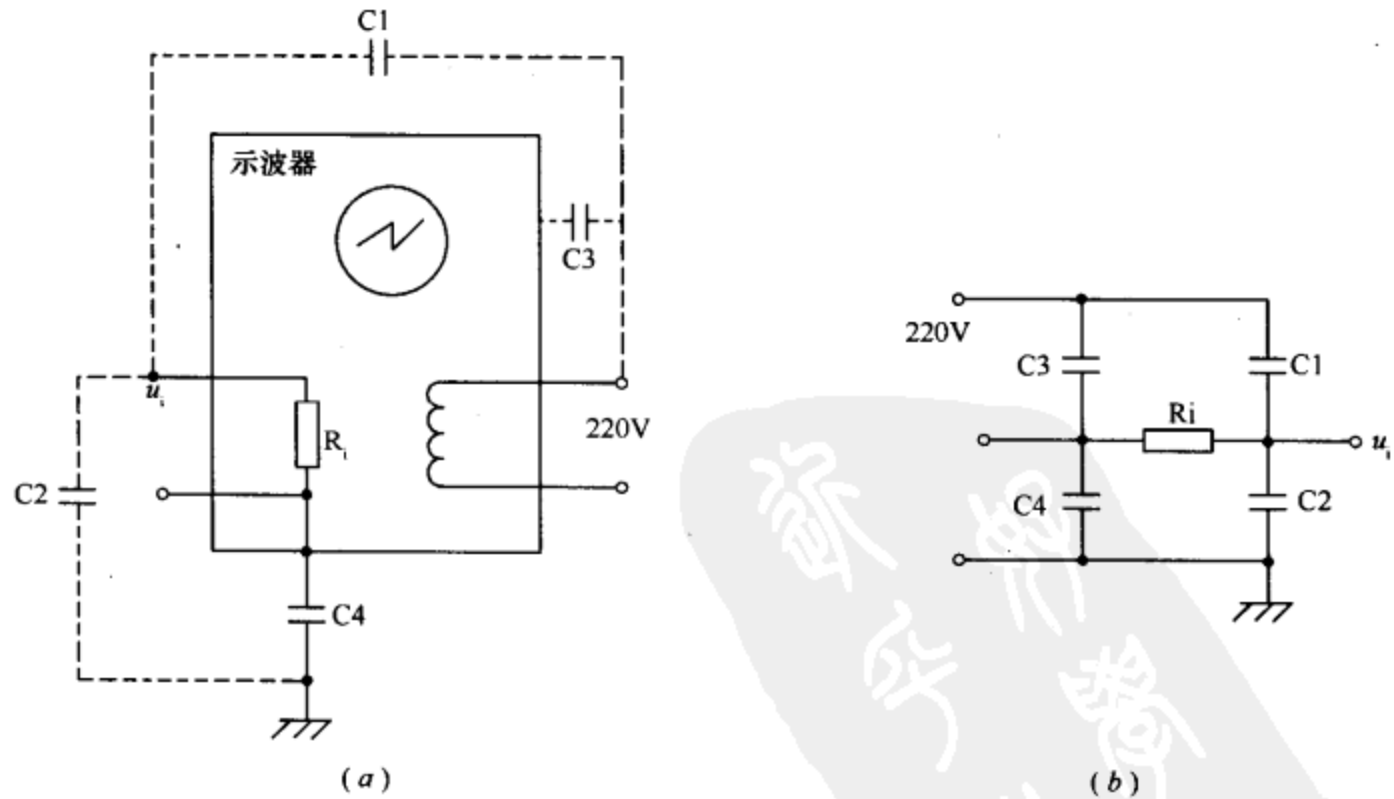


图 1-10 示波器输入端开路引入干扰

4) 接地不当将被测电路短路

这个问题在使用双踪示波器时尤其应注意。如图 1-11 所示, 由于双踪示波器两路输入端的地线都是与机壳相连的, 因此, 在图 1-11(a) 中, 示波器的第一路(CH1)观测被测电路的输入信号, 连接方式是正确的, 而示波器的第二路(CH2)观测被测电路的输出信号, 连接方式是错误的, 导致了被测电路的输出端被短路。在图 1-11(b) 中, 示波器的第二路(CH2)观测被测电路的输出信号, 连接方式是正确的, 而示波器的第一路(CH1), 观测被测电路的输入信号, 连接方式是错误的, 导致了被测电路的输入端被短路。

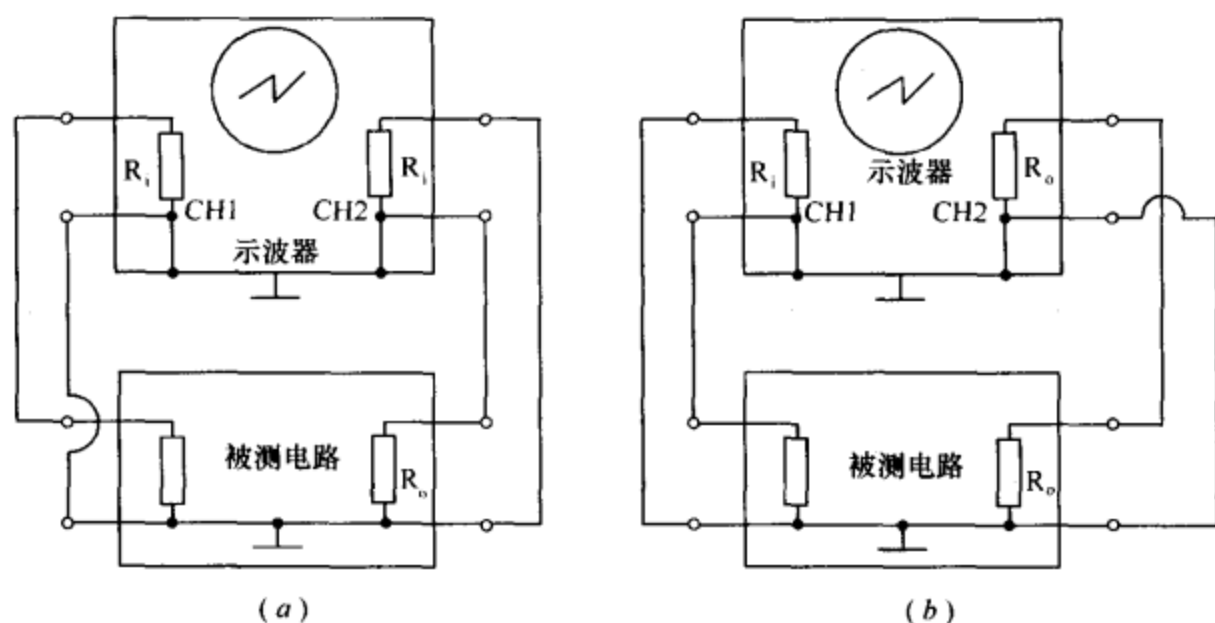


图 1-11 接地不当将被测电路短路

此外, 接地时应避免多点接地, 而采取一点接地方法, 以排除对测量结果的干扰而产生测量误差。尤其多个测量电仪器间有两点以上接地时更需注意。如果实验室电源有地线, 此项干扰可以排除, 否则, 由于两处接地, 工作电流在各接地点间产生电压降或在接地点间产生电磁感应电压, 这些原因也会造成测量上的误差。为此, 必须采取一点接地措施。

在测量放大器的放大倍数或观察其输入、输出波形关系时, 也要强调放大器、信号发生器、晶体管毫伏表以及示波器实行共地测量, 以此来减小测量误差与干扰。

第二章 万用表与毫伏表

万用表分指针万用表和数字万用表两类,是一种可以进行多种项目测量的便携式仪表,它除可以测量电流、电压、电阻外,还可以粗略测量和判断电容、晶体管等的好坏,是无线电爱好者和维修人员的必备工具之一。本章以目前较为常用的指针式和数字式万用表为例,系统地分析了万用表的结构、原理和基本使用方法,最后对毫伏表的使用做了简要介绍。

第一节 万用表的分类、特性和选用

一、万用表的分类

万用表简称万用表或三用表,是一种便携式仪表,可以比较精确地测量交、直流电压,交、直流电流以及电阻值的大小,这些是万用表的基本挡位,万用表还有一些附加挡位,如电容器的测量、二极管的测量、三极管的静态电流放大系数、线路的通断等。

万用表有指针式和数字式两类。常见的指针式万用表(简称指针万用表)有:500型、MF500-B型、MF47型、MF64型、MF50型、MF15型等,常见的数字式万用表(简称数字万用表)有:DT890、DT890D、DT830、DT9101、DT9102、DT9103等。指针式万用表使用方便、价格便宜、性能稳定,不易受外界环境和被测信号的影响,可以直观形象地观察变化的趋势;而数字式万用表测试精度高、测量范围宽、显示清晰、读数准确,还能准确进行电容量和小电阻值的测量。这两类万用表各有所长,在使用的过程中不能完全替代,要取长补短,配合使用。

二、万用表的技术特性

1. 万用表的灵敏度

灵敏度是指计量器具对被测量对象的变化反应能力。在指针式万用表当中,灵敏度有表头灵敏度、直流电压灵敏度、交流电压灵敏度之分。

(1)表头灵敏度。表头灵敏度是指单位电流量能使表头指针发生偏转的角度。由于在指针式万用表当中,指针的偏转范围是一定的,通常在指针发生最大偏转时,也就是满偏时,流过表头的电流为表头的灵敏度。此电流越小,表头的灵敏度越高。500型万用表一般使用内阻为 2500Ω 、满偏电流为 $40\mu\text{A}$ 的直流表头,因此500型万用表的表头灵敏度为 $40\mu\text{A}$ 。

(2)直流电压灵敏度。一般取万用表的最小直流电流挡的满偏电流的倒数来表示。如500型万用表的最小直流电流挡为 $50\mu\text{A}$,那么其直流电压灵敏度为

$$\text{直流电压灵敏度} = 1/I = 1/50 \times 10^{-6} = 20\text{k}\Omega/\text{V}$$

当量程为 10V 时,该挡的总内阻 $=10 \times 20\text{k}\Omega/\text{V}=200\text{ k}\Omega$

当量程为 50V 时,该挡的总内阻 $=50 \times 20\text{k}\Omega/\text{V}=1\text{M}\Omega$

当量程为 250V 时,该挡的总内阻 $=250 \times 20\text{k}\Omega/\text{V}=5\text{M}\Omega$

从以上的分析可以看出,直流电压挡的量程越大,其内阻越大,对测量结果的影响越小。

(3)交流电压灵敏度。如果仍使用 $50\mu\text{A}$ 电流量程作交流电压表,并采用半波整流的方式,则该整流电路的工作效率为 0.44,那么,使表头发生满偏所需要的交流电流为

$$50\mu\text{A}/0.44=113.5\mu\text{A}$$

则交流电压灵敏度为

$$\text{交流电压灵敏度}=1/113.5 \times 10^{-6}=8.8\text{k}\Omega/\text{V}$$

当量程为交流 10V 时,该挡的总内阻 $=10 \times 8.8\text{k}\Omega/\text{V}=88\text{k}\Omega$

当量程为交流 50V 时,该挡的总内阻 $=50 \times 8.8\text{k}\Omega/\text{V}=440\text{k}\Omega$

从以上的分析可以看出,跟直流电压挡一样,交流电压挡的量程越大,其内阻越大,对测量结果的影响越小,不同的是,交流电压的灵敏度低,相同数值的量程交流挡内阻低。由于 500 型万用表的整流电路采用全波整流,因此它的效率也相应地提高了 1 倍,其交流电压灵敏度降低了 1/2,内阻也减小了 1/2。

2. 万用表的分辨力及分辨率

分辨力是描述数字万用表技术性能的一项参数,它表示该表可显示的最小数对被测量值的可表达程度。分辨力不仅可以用来表示测量机构的技术性能,也可以用来表示各挡的技术性能。随着量程的转换,分辨力也作相应的变化:统一测量功能条件下,量程越小,分辨力越高;反之,分辨力越低。如 DT890D 数字万用表 200mV、2V、20V、200V、1000V 的分辨力分别是 0.1 mV、1 mV、10 mV、100 mV、1 V。

分辨力的相对值成为分辨率。设最大显示数为 N_{\max} ,最小分辨力为一个字,则

$$\text{分辨率}=1/N_{\max}$$

当 $N_{\max}=1000\text{V}$,最小分辨力=1 V 时,分辨率 $=1/1000=0.001=0.1\%$

3. 万用表的准确度等级

按万用表的测量准确度大小所划分的级别,称为万用表准确度等级。划分的依据是仪表的基本误差,该误差是在规定的正常测量条件下所具有的误差。指针式万用表的准确度等级有 1.0 级、1.5 级、2.5 级、5.0 级,进口万用表中还有 0.5 级。准确度等级的标注方法有 3 种,分别代表不同数值的测量误差。有的万用表还标有 3 个精度等级:—2.5、~5.0、 $\Omega 2.5$,其中“—2.5”表示直流量程的基本误差为 2.5%，“~5.0”表示交流量程的基本误差，“ $\Omega 2.5$ ”表示电阻量程的基本误差为刻度线弧长的 2.5%。

4. 万用表的其他技术性能

万用表的其他技术性能还有线性度、波形误差、频率特性等。

线性度是指测量仪表各刻度之间的分布,偏离均匀分布理想点的误差程度。指针式万用表显示测量结果的线性度与生产的工艺有关系。随着产品质量的提高,万用表的线性度也有了明显的改善。数字万用表的线性度比指针万用表的线性度更好,它的所有测量结果中非线性可以忽略不计。

波形误差是指针万用表的指示值为交流电压的平均值,仪表的指示值是按正弦波形

交流电的有效值校正,被测交流电压的波性失真应在任意瞬时值与基本正弦波形上相应的瞬时值间的差别不超过基本波形振幅的 $\pm 2\%$,当被测电压为非正弦波时,如测量铁磁饱和稳压器的输出电压,表的指示值将因波形失真而引起误差。数字万用表大都采用平均值响应的 AC/DC 转换器,只能测量正弦电压的有效值,并且要求被测正弦电压的失真不超过 5% ,欲测量方波、矩形波、锯齿波、梯形波、半波或全波整流波等非正弦波的电压,必须选用真有效值数字万用表,如 DT960T、DT980、DM8145 型等。

频率特性是指针万用表的交流电压挡,适应频率的范围因表而异。有的万用表交流电压挡的频率范围是 $45\text{Hz}\sim 65\text{Hz}$,其扩展频率为 1000Hz ,在刻度盘上表示为 $45\text{Hz}\sim 65\text{Hz}\sim 1000\text{Hz}$ 。有的万用表交流电压挡的频率范围是 $45\text{Hz}\sim 1000\text{Hz}$,在刻度盘上直接标注。有些万用表没有标注所适应的频率范围,一般情况下,按 $45\text{Hz}\sim 65\text{Hz}$ 使用。有些进口万用表的频率适应范围更宽,在这里不再细说。在使用的过程当中,如果被测交流电的频率超过万用表的工作频率范围,也将产生误差,并且误差会随着频率的升高而增大,最终会使测量结果失去意义。500 型万用表的工作频率范围是 $45\text{Hz}\sim 1000\text{Hz}$ 。手持式数字万用表的频率范围一般在 400Hz 以下,超过此值时测量结果会增大。

三、万用表的选用

万用表按精度可分为精密、较精密、普通 3 种,按灵敏度可分为高、较高、低 3 种,按体积可分为大、中、小 3 种,一般来说,精密、高灵敏度、功能多、大体积的万用表质量高、价格贵。万用表的型号很多,而不同型号之间功能也存在差异,一般情况下,指针万用表都具有以下基本量程: $\times 1\sim 10\sim 100\sim 1\text{k}\sim 10\text{k}\Omega$ 的欧姆挡, $0\sim 2.5\sim 10\sim 50\sim 250\sim 500\text{V}$ 的直流电压挡, $0\sim 10\sim 50\sim 250\sim 500\text{V}$ 的交流电压挡, $0\sim 50\mu\text{A}\sim 1\sim 10\sim 100\sim 500\text{mA}$ 的直流电流挡,而数字万用表量限更大、量程更多。因此,在选购万用表的时候,通常要注意以下几个方面。

(1)要了解万用表的性能和价格。在购买万用表之前,首先要根据自己的需要,对万用表的精密程度、灵敏度的高低、价格等方面作进一步的比较了解,再选择不同档次的万用表。如果对测量结果精度要求很高,就要选择一块灵敏度高、性能好的万用表;如果对测量结果要求不高,比如家庭使用,就选择价格便宜、性能一般,具有上述基本量程的万用表即可。

(2)要注意万用表使用的环境。如果室内使用,可以购买体积较大、精度较高、测量范围较广的万用表;如果外出流动使用,就要考虑购买体积较小,并且密封性较好的万用表。

(3)注意万用表的外观。表盘刻度要清晰、无污点,表壳光亮而无划痕、裂缝,后盖结合紧密而不松动,提手牢固安全,功能开关触点接触可靠而不左右晃动,旋转时声音清脆而无杂音,机械调零旋钮和电阻挡调零旋钮旋转要灵活。如果是数字万用表,还应注意显示屏数字显示是否清晰、完整,保护能力是否齐全有效等。

(4)表头的检查。机械调零后,将表在水平、垂直方向上作小幅度的来回晃动,指针不应该有明显的摆动;将表水平放置和竖直放置时,表针偏转不应该超过一小格;将表旋转 360° 时,指针应该始终在零附近均匀摆动。如果达到了上述的要求,就说明表头在平衡和阻尼方面达到了标准。

(5)测量准确度的检测。选择好了样式和型号之后,就要简易判断万用表的性能。最好事先准备一些参照物,如大小电阻、电池、电容等,对电阻挡、电压挡、电流挡进行实验性检查,以便进行比较选择,有条件的可以借用一块精度高的万用表进行对比测量,这样就能购买到一块称心满意的万用表了。值得一提的是:如果在这方面是一位新手,最好请一位行家帮助选择购买。

(6)选择时要注意质量的真伪。目前,市场上的伪劣假冒产品很多,购买时最好到信誉高的商店去购买,千万不能图便宜,随便买一块,否则会给今后的工作带来很多麻烦。

第二节 指针万用表的结构、原理与使用

一、指针万用表的结构

指针万用表的种类很多,功能各异,但它们的结构和原理却基本相同。其结构主要由测量机构、测量电路、转换装置 3 部分组成,从外观上看,由外壳、表头、表盘、机械调零旋钮、电阻挡调零电位器、转换开关、专用插座、表笔及其插孔组成,而内部则由电池及电阻、电容、二极管、三极管、集成电路等元器件组成的测量电路。

下面结合 500 型万用表,介绍一下指针万用表的结构。

500 型指针万用表,是一种高灵敏度、多量程的携带式整流系仪表,该表共有 24 个测量量程,能完成交/直流电压、直流电流、电阻及音频电平等基本项目的测量,还能估测电容器的性能,判别各种类型的二极管、三极管及极性。

从外观上看,500 型万用表正面有表头、表盘、2 个转换开关、机械调零旋钮、调零电位器和 4 个表笔插孔,背面有电池盒,能容纳 1.5V 二号电池 1 节和 9V 层叠电池 1 块。如图 2-1 所示。

1. 表头

表头是万用表的重要组成部分,决定了万用表的灵敏度。表头由指针、磁路系统和偏转系统组成。为了提高测量的灵敏度和便于扩大电流的量程,表头一般都采用内阻较大、灵敏度较高的磁电式直流安培表,500 型万用表使用的是内阻为 2500Ω 、满度电流为 $40\mu A$ 的直流表头。

重点提示 由于 500 型万用表的表头采用的是直流安培表,电流只能从正极流入,从负极流出。在测量直流电流的时候,电流只能从与“+”插孔相连的红表笔流入,从与“*”插孔相连的黑表笔流出,在测量直流电压时,红表笔接高电位,黑表笔接低电位,否则,一方面测不出数值,另一方面很容易损坏指针。

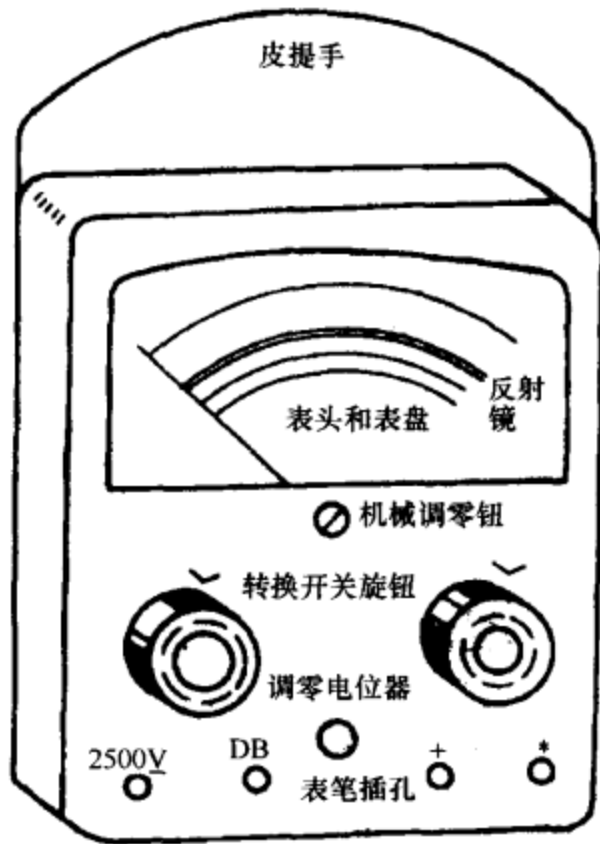


图 2-1 500 型万用表的结构

2. 表盘

表盘由多种刻度线以及带有说明作用的各种符号组成。只有正确理解各种刻度线的读数方法和各种符号所代表的意义,才能熟练、准确地使用好万用表。表盘示意图如图2-2所示。

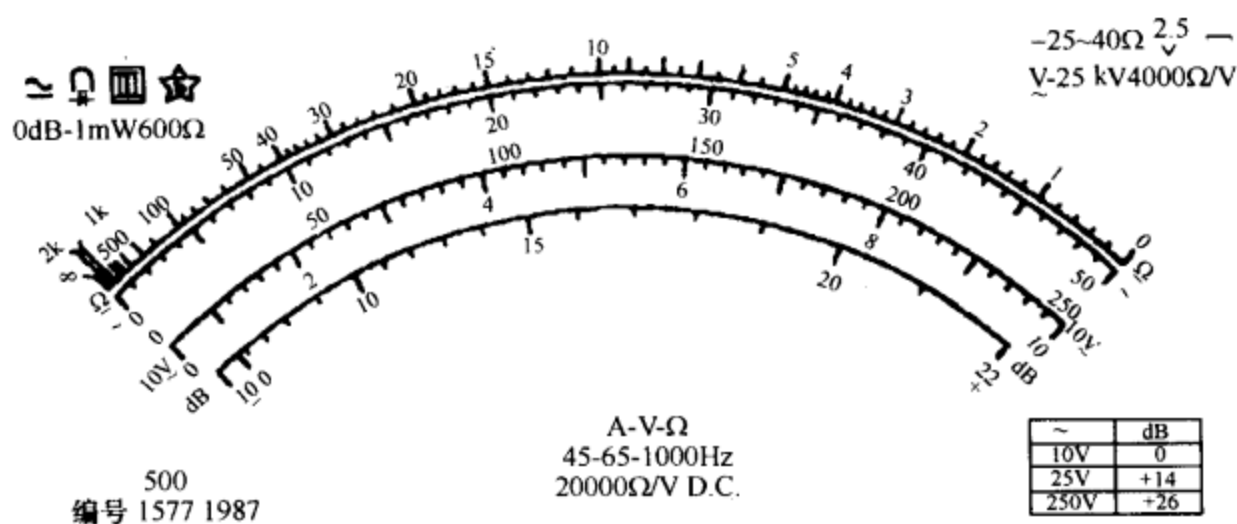


图 2-2 表盘示意图

刻度尺有 4 种刻度标记,从上至下分别是:欧姆挡刻度尺、交/直流 50V 和 250V 挡的刻度尺、交流 10V 挡的专用刻度尺及 dB 挡刻度尺。由图可见,直流电流和直流电压共用一条刻度尺,并且该刻度尺上的刻度是均匀的、等分的,其他刻度尺上的刻度是不均匀的,同一条刻度尺上标有不同的数字,以避免在使用某些量程时进行换算。电阻值的读数方法与其他读数方法正好相反,从右边零位开始,至左边无穷大,其他量程读数从左边零位开始。

测量结果的读取有 3 种方法:另 1 种是量限法,即被测对象的数值在刻度尺满偏范围之内,可以直接读取,如测量 250V 以内的电压值,上面的例子就属于这一种;第 2 种是量程法,即测量结果等于读数乘以量程,电阻挡就属于这一种方法,如将电阻挡量程开关旋至 $R \times 100\Omega$ 挡,读数为 10,那么被测电阻的阻值为 $1k\Omega$;第 3 种是换算法,有 250V 以上的电压挡, +22dB 以上的 dB 挡等。

3. 转换开关

万用表的型号不同,转换开关工作方式也不同,有功能开关—量程开关合用一只开关型、功能开关—量程开关分离型、功能开关—量程开关交互使用型等,有些万用表还设有专用插座,与功能转换开关配合使用,以完成某些专项测量。500 型万用表就属于交互使用型,使用时首先要熟悉两个转换开关上功能选项的位置,根据被测对象的类别,选择相应的测量项目,再根据被测数值的大小,选择合适的量程,即可进行测量了。如用 500 型万用表测量一节 9V 层叠电池的电压,首先选择功能开关,即将右边的旋钮旋至“V”挡;再选择量程,即将左边的旋钮旋至直流电压 10V 挡,然后将红表笔插入“+”,黑表笔插入“*”,确认无误后,即可进行测量,并从刻度线上读取测试结果。500 型万用表除了用上述方法选择量程外,还可利用改变表笔插头位值的方法来转换测量量程。例如,当测量 2500V 交、直流电压时,黑表笔插在“*”不动,将红表笔插在 2500V 的插孔内即可进行测量。

4. 机械调零旋钮和电阻挡调零旋钮

机械调零旋钮的作用是调整表头指针静止时的位置。万用表不作任何测量时,其指针应指在表盘刻度线左端“0”的位置上,如果不在这个位置,可调整该旋钮使其到位。电

阻挡调零旋钮的作用是,当两表笔短接时,表头指针应指在欧姆挡刻度线的右端“0”的位置,如果不指在“0”的位置,可调整该旋钮使其到位。需要注意的是,每转换一次欧姆挡的量程,都要调整该旋钮,使指针指在“0”的位置上,以减小测量的误差。

5. 表笔插孔

不同的万用表,其表笔“+”、“-”插座的表示方式也各有不同,有的直接用“+”和“-”表示,有的用“+”、“*”表示,有的用“+”、“COM”表示等。500 型万用表有 4 个表笔插孔分别对应在“*”、“+”、“dB”(有些为 5A)和 “2500V”位置上。测量时,红表笔应插在“+”,黑表笔应插在公共端“*”,在使用交直流“2500V”和音频电平测试量程时,红表笔应分别插在此孔。

重点提示 指针万用表的红表笔插孔与万用表内部电池的负极相连,黑表笔插孔与万用表内部电池的正极相连。数字万用表正好相反。在用万用表测量二极管、三极管和某些有极性的元件时要特别注意表笔内部电源极性问题,以免引起误判。

二、指针万用表的原理

万用表实际上是电压表、电流表、电阻表的组合体,利用转换开关变换内部的测量电路,实现多种项目、多种量程的测量。下面简要介绍一下电压、电流及电阻的测量电路及其测量原理。

1. 直流电压测量电路

500 型万用表使用一只内阻为 $2.5\text{k}\Omega$ 、量程为 $40\mu\text{A}$ 的直流表头。若用它去直接测量电路的直流电压,其最大测量范围为 $2.5 \times 10^3 \times 40 \times 10^{-6} = 0.1\text{V}$,即高于 0.1V 的直流电压因流过表头的电流超过 $40\mu\text{A}$ 不能测量。欲扩大它的量程,只要串接适当阻值的电阻即可。例如,在其表头上接一只 $247.5\text{k}\Omega$ 的电阻,它能测量的最大电压范围将变为 $(247.5 + 2.5) \times 10^3 \times 40 \times 10^{-6} = 10\text{V}$,即量程扩大了 100 倍。不难推知,若分别串入不同阻值的电阻,并通过开关分别进行转换,便可得到一个不同量程的电压表。

在实际用的万用表中,串接电阻与表头的连接方法有两种,单独连接和串联连接,分别如图 2-3(a)和图 2-3(b)所示。显然,单独连接时各量程之间互不影响,维修时也较方

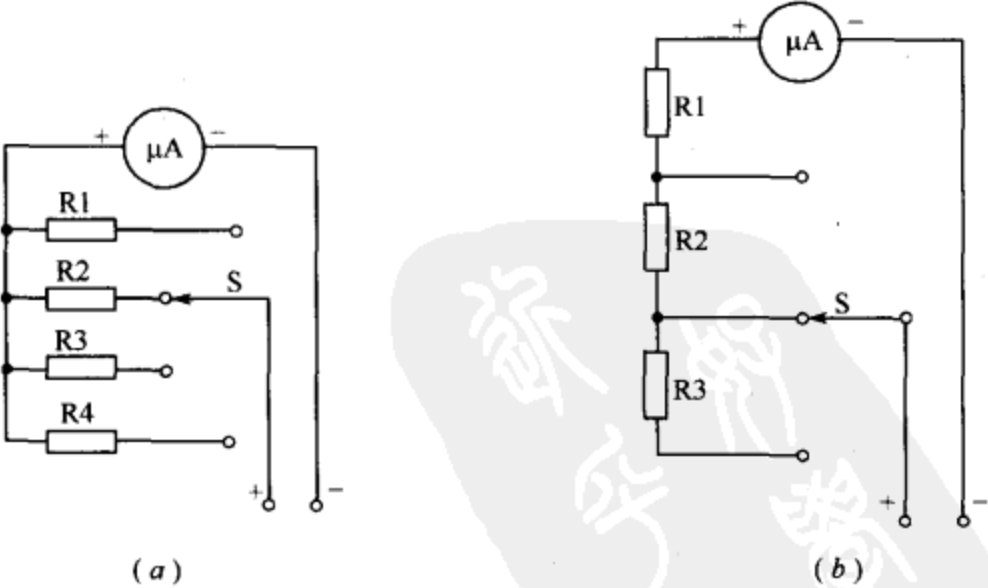


图 2-3 串联电阻与表头的连接
(a)串联电阻与表头单独连接;(b)串联电阻与表头串联连接。

便。串联连接时,各量程之间相互影响,维修时较麻烦,但串接电阻的利用率高。500 型万用表的电压测量档采用串联接法。

2. 直流电流测量电路

与直流电压测量电路相反,为了扩大表头的电流量程,必须给它并联上分流电阻,使实际通过表头的电流为被测电流的一部分,显然,若表头原来的量程为 I_g ,欲使其扩大量程 100 倍,则流过并联分流电阻中的电流应当为 $99I_g$ 。不难推知,电流量程扩大的倍数越大,表头上需要并联电阻的阻值就越小。如果在表头上分别并上不同阻值的分流电阻,并通过转换开关控制,就能得到多种不同量程的电流表。

万用电表电流测量挡分流电阻的接法也有两种:单独并联式和闭路串并联式,分别如图 2-4 所示。

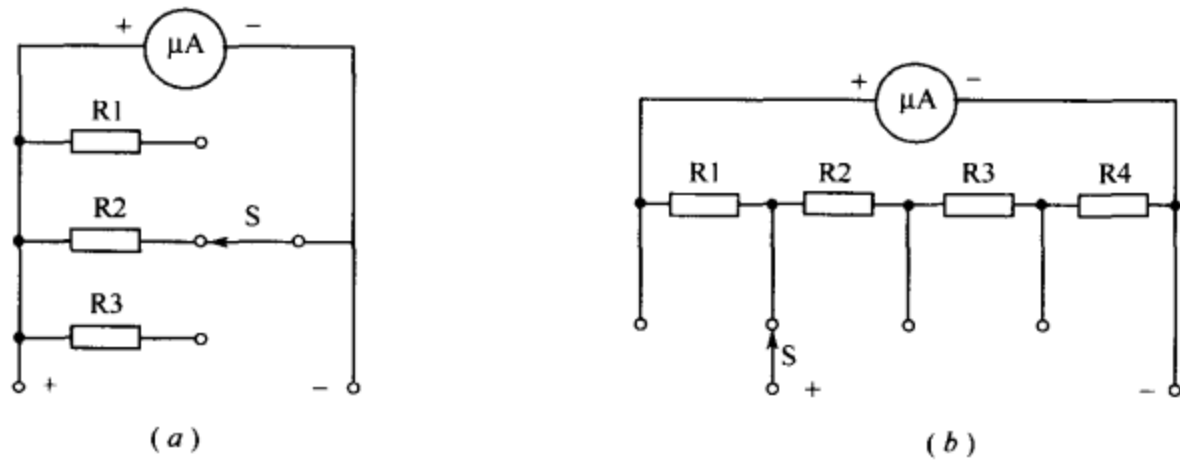


图 2-4 并联电阻与表头的连接
(a)单独并联式; (b)闭路串并联式。

单独并联式突出的优点是,分流电阻互不影响,维修方便。其缺点是,当分流电阻接触不好或损坏时,不仅影响测量精度,而且表头还会因通过的电流太大而烧毁,所以在实际的万用表中很少采用。闭路串并联式不仅克服了这一缺点,而且还具有测量误差小,各测量量程表针阻尼均匀等优点,因而应用广泛。500 型万用表的电流测量挡采用的就是这种闭路串并联式。

3. 交流电压测量电路

磁电式直流表头要求通过的电流有一定方向,因此只能测量直流电。欲测量交流电,必须通过“整流电路”将交流电转变为直流电,然后方能进行交流电压(或交流电流)的测量。

整流电路有如图 2-5(a)和图 2-5(b)所示的全波和半波之分,由于半波整流电路结构简单、量程转换容易,因此应用较多。500 型万用表交流电压测量挡采用的就是半波整流电路。

通过半波整流电路将交流电变换成直流电,再利用前述串联电阻方法,进一步将微安表头安装成多交流电压的大小是随时间变化的,所以有平均值、有效值及最大值之分,由于磁电式仪表指针的偏转大小与通过电流的平均值成正比,但对交流电实际中应用的却是有效值,即表盘刻度必须是有效值。这样一来,交流电压(或交流电流)的刻度就变得不均匀了。由于交流电流的测量电路较复杂一些,而且应用不多,所以 500 型万用表(个别新型号除外)不设交流电流测量挡。

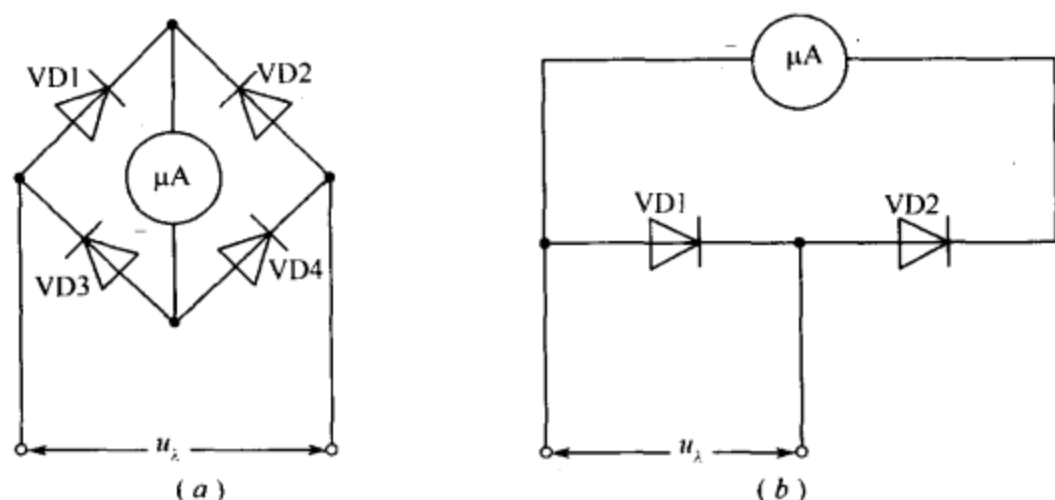


图 2-5 整流电路
(a)桥式整流电路；(b)半波整流电路。

4. 电阻测量电路

利用万用表测量电路的电压或电流时,被测电路总是带电的,因而可以从中分一部分电流通过万用表,使其指针偏转而达到测量的目的。当用万用表来测量电阻器或其他无源器件的电阻值时,这些元件本身往往是不带电的。所以,测量时必须另外加上电池和适当阻值的电阻,使表头中有电流通过,并使其指针偏转角度随被测件电阻值的不同而不同,从而测量出被测件电阻的大小。由此可以推知,电阻测量电路中除了必须有表头作指示器外,还必须有电池并配合适当阻值的电阻。测量电阻的基本电路如图 2-6 所示。

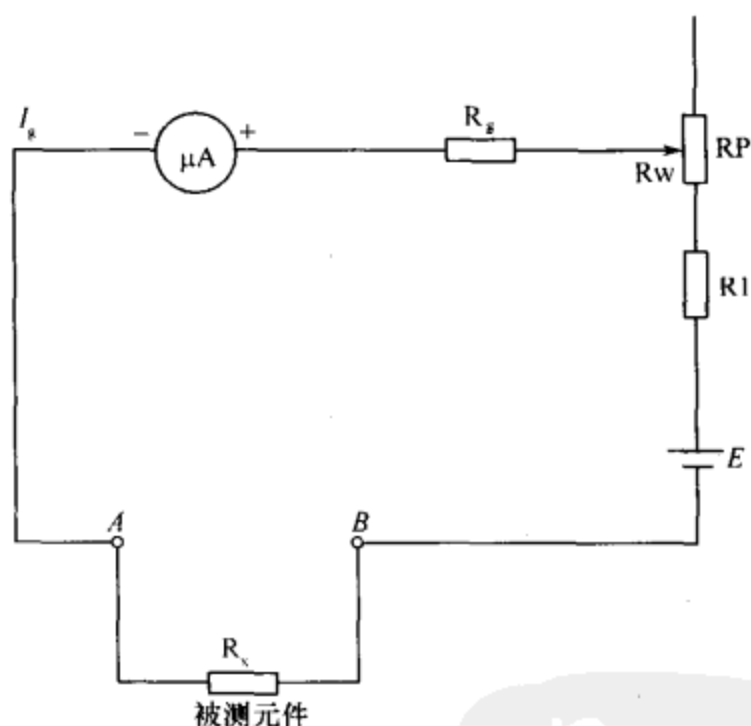


图 2-6 测量电阻的基本电路

被测元件接在 A、B 之间,使电路构成通路,因而指针发生偏转。设被测元件的阻值为 R_x ,显然 R_x 值越大,通过表头的电流越小,指针偏转角度也越小;与此相反, R_x 值越小,则通过表头的电流越大,指针向右偏转角度越大。由此可以推知,电阻值刻度线必须由右向左刻划,其最小值在右端,而最大值则在左端。

为了进一步说明电阻值的测量原理,下面分 3 种情况分析。

(1) $R_x = 0$ 。这种情况相当于 A、B 直接短接,此时表头中通过的电流将达到最大值。

显然,调节电位器 RP,可以使通过表头的电流恰好为满度值 I_g ,这时,指针应指在刻度线 0Ω 的位置上,这一过程俗称为“调零”,RP 也因此被称做调零电位器。设此时表头的等效内阻为 R'_g ,则其值为

$$R'_g=R_g+R1+R_w$$

式中: R_g 为表头本身的内阻; $R1$ 为测试电路中的串接电阻; R_w 为调零电位器滑动端至与 $R1$ 相接端电阻(即在测试电路中的电阻)。

(2) $R_x=\infty$ 。这种情况相当于 A、B 两端开路时的情况,此时表头中无电流通过,指针不发生偏转,因而应位于刻度线左端 ∞ 的位置上。

(3) $R_x=R'_g$ 。当被测电阻值与表头等效内阻相等时,表头中通过的电流为 $R_x=0$ 时 $1/2$,因而,指针位于刻度线的中央位置,所对应的欧姆刻度数应为 R'_g ,通常 R'_g 被称为中值电阻,实际上它就是电阻测量电路的等效内阻。

由前面的分析可知,电阻测量电路的测量范围为 $0\sim\infty$ 。范围如此大的各种数值的电阻,要从刻度线上准确地读出其欧姆数,是相当困难的。另外,由于通过表头的电流值与被测元器件值 R_x 的大小并不成线性关系,只有 R_x 与 R'_g 的大小相差不多时,即表头指针在刻度线中央位置附近时,测量误差较小,而在刻度线两端时其测量误差较大。这就是说,电阻测量电路的有效测量范围随中值电阻而变化,所以电阻测量电路常以其中值电阻值作为量程的标志。实际上,欧姆值刻度线也是在一定的中值电阻量程下刻划的。

仔细分析电阻测量基本电路可知,随着电池电压的下降,需不断地调整调零电位器的位置,其中值电阻值也随着改变,因而使测量误差增大,所以万用表中实际采用的电阻测量电路如图 2-7 所示。

这种测量电路的优点是,当电池电压下降时,只要稍微调整一下调零电位器 RP 的阻值,就能使其指针偏转满刻度。另外,调零电位器 RP 阻值的变化,对其中值电阻值的影响也小得多,因而造成的测量误差较小。

500 型万用表测量范围及精度等级如表 2-1 所列。

表 2-1 500 型万用表的测量范围及精度等级

测 量 范 围		灵敏度/k Ω /V	精度等级	基本误差表示方法
直流电压/V	0~2.5~10~50~250~500	20	2.5	以刻度尺工作部分上 量限的百分数表示
	2500	4	4.0	
交流电压/V	0~10~50~250~500	4	4.0	
	2500	4	5.0	
直流电流	0~50 μ A~1~10~100~500mA		2.5	

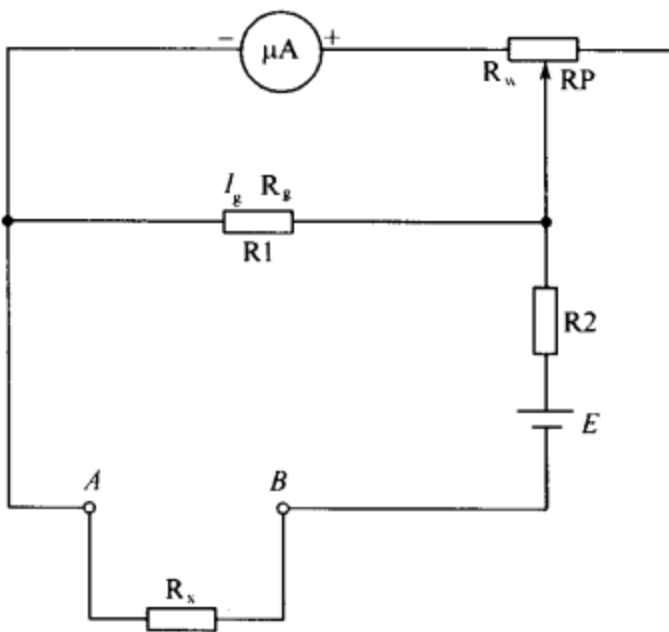


图 2-7 实际电阻测量电路

(续)

测 量 范 围		灵敏度/k Ω /V	精度等级	基本误差表示方法
电 阻/ Ω	0~2k~20k~200k~2M~20M		2.5	以刻度尺长度的百分数表示
	中心值 10、100、1k、10k、100k			
	倍率 $R\times 1$ 、 $R\times 10$ 、 $R\times 100$ 、 $R\times 1k$ 、 $R\times 10k$			
音频电平/dB	-10~+22			

三、500 型万用表的使用方法

1. 调“零点”

使用前,如果万用表指针不指在刻度尺的零点(非欧姆挡的起始零点),则必须用螺丝刀慢慢转动机械零点校正螺丝,使指针指在起始点零位上。然后将红表笔插在“+”内,黑表笔插在“*”内,再选择合适的量程,就可以进行下一步的测量了。

2. 直流电压挡的使用

将右边的转换开关旋至直流电压挡,左边的旋钮旋至相应的待测直流电压的量程。测量时,两表笔应并接在线路的两端即可。如果事先不知道待测电压的值在哪一个量程范围之内,应该遵循从高量程到低量程的原则,不合适再依次递减,直至指针在有效的偏转范围之内。如果不考虑表的内阻对测量结果的影响,可以选择较小的量程,使指针得到最大幅度的偏转,这时测量的结果读数最准确,误差最小;如果考虑表的内阻对测量结果的影响,就应该选择较高的量程,这样表的内阻增大,减小了表的内阻对测量结果的影响。在测量过程当中,如果不知道电压的极性,可先将一只表笔接好,用另一只表笔在待测点上轻轻地、快速地触一下,如果表针向左偏转,说明测量错误,只需将红、黑表笔交换即可。如果指针向右偏转,表明测量正确,这时红表笔所接的一端为正极,黑表笔为负极,接着可以进行细致的测量。测量结果的读取除 50V 和 250V 挡可直接读出外,其他按比例换算。要准确地读取测量结果,眼睛的视轴应和指针的中垂线重合,以减小人为的读数误差。如果表盘上带有反光镜,读数时指针应和镜中的影像重合。

3. 交流电压挡的使用

将右边的转换开关旋至交流电压挡(与直流电压挡共用),左边的旋钮旋至相应的待测交流电压的量程。量程的选择与测量结果的读取方法与直流电压相同。另外,交流电压挡又多了交流 10V 专用刻度尺。

注意 500 型万用表是磁电式整流系仪表,它的指示值是交流电压的有效值,均按正弦波形交流电压的有效值校正,因此只适用于正弦波。

重点提示 由于交流电没有正、负极之分,所以表笔也没有红、黑之别。但需要说明的是,用直流电压挡测量交流电压值时,指针会抖动而不偏转,甚至会损坏;用交流电压挡测直流电压值时,所测量的结果大约要高 1 倍;测量交流电压时,如被测交流信号上叠加上直流电压,交、直流电压之和不得超过该量程的量限,必要时应在输入端串接隔直电容,也可直接利用 dB 挡进行测量,该插孔内部已串入隔直电容。因此,在利用交流电压挡进行测量时,要注意量程的选用。

4. 直流电流挡的使用

测直流电流时,应将左边的转换开关旋至直流电流挡,右边的转换开关旋至与被测电流值相应的量程,量程的选定与直流电压的测量方法相同,将被测电路的某一点断开,将两只表笔串接在电路中,注意红表笔接电流流入的一端,黑表笔接电流流出的一端。在测量的过程当中,要注意两只表笔与电路的接触应保持良好的,切勿将两只表笔直接并接在某一电路的两端,以防万用表的损坏。

5. 电阻挡的使用

将左边的转换开关旋至电阻(Ω)处,将右边的转换开关旋至待测电阻值相应的量程,先将两只表笔短路,调节欧姆挡调零电位器,使指针指在欧姆刻度线零的位置上,再将两表笔并接在被测电阻的两端进行测量。测量结果见“ Ω ”刻度尺。为了减小测试误差,提高测试精度,欧姆挡量程的选用应使指针的摆动范围尽可能地在刻度尺全刻度起始的20%~80%,最好指在中间部位,这样精度更高。在测量阻值较大的电阻时,要避免人体与电阻两端或表笔导电部分的接触。

重点提示 $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1k$ 挡所用直流电源为1.5V二号电池1节, $R \times 10k$ 挡所用直流电源是1.5V二号电池1节和9V层叠电池1块相串联。当两表笔短路时,调节调零电位器不能使指针摆到“0 Ω ”位置上,表明电池电压不足,应更换电池。更换时要注意电池的极性,更换后要保证电池与电池夹接触良好。长期不用,要把电池取出,以防止电池漏液而腐蚀或影响其他元件。

下面简要说明电阻挡的使用技巧。

(1)检查电容器的质量。由于万用表的欧姆挡具有电源,电路中的电阻元件可以看成是一个等效电阻 R ,当测量电容器时,被测电容与欧姆挡电路一起构成了一个一阶RC网络,如图2-8所示。

测量时,当两表刚与电容器两端接触时, E 要对 C 充电,电路中有电流通过表头,指针将向“0 Ω ”方向偏转并达到某一数值。随着充电过程的慢慢结束,指针便逐渐返回,如果电容器中间绝缘介质的电阻为无穷大,充电过程结束后,回路中将不再有电流流动,指针也将返回起始点;若绝缘介质的电阻不是无穷大,指针最后将停留在某一较大的电阻刻度上。从指针偏转的大小及指针最后停留的位置,可判断电容器电容量的大小及质量的好坏。

同一个量程挡上,若指针偏转越大,说明电容器的容量越大。若偏转比正常的、同样的电容器小,则说明该电容器的容量已减小。指针最后停留处的阻值越大,说明电容器的漏电越小(指针所指的阻值就是漏电阻,一般电容器的漏电阻很大,为几十 $M\Omega$ ~几百 $M\Omega$),若最后停留在 ∞ 处,说明此电容器不漏电。若指针偏转后不返回,则说明电容器内部已短路,绝缘介质被击穿。若指针不偏转,则说明电容器内部已开路或电容器的容量非常小。

当被测电容很小时(几 pF ~几百 pF),电容器充电时间极短,回路中的电流也很小,即便是用 $\times 10k$ 挡,也不易看到表针的摆动,这时只要表针仍处于 ∞ 位置,则可认为电容器是好的。若表针偏离了 ∞ 位置,则说明此电容漏电。因此,对于小容量的电容器,用万

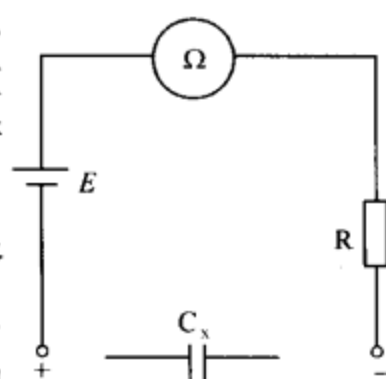


图 2-8 测量电容
等效电路

用表只能检查其短路故障,而对开路故障一般不易查出。

用万用表检查大容量电容器是否有短路、开路及漏电现象是行之有效的,尤其是对电解电容器的检查。由于电解电容器是有极性的,因此检查时要注意用万用表的负表笔接电容器的正极,正表笔接电容器的负极。在用万用表的欧姆挡检查电容器时,应根据电容器容量的大小选择适当的量程,这是因为改变了欧姆挡的量程,也就改变了给电容器 C_x 的充电时间。当 C_x 的值很大时,若选择较大的量程挡,充电过程要经过很长时间才能结束。例如,对一个 100F 的电容器选 $\times 10k$ 挡,则要经过 100s 后,充电过程才能基本结束。但若量程选得太小,对电容器的漏电观察将受到限制。

(2)检查电感器的质量。用欧姆挡检查电感器时,只能判别它是否有开路故障,以及测量其电阻值的大小。对电感器内部是否有短路故障一般不易查出。测量时,若测出电感器的阻值为无穷大,则说明电感器的内部已经开路,是不能再使用了,若测出的阻值较大,说明该电感器的 Q 值较低,不易在 Q 值要求较高的情况下使用。

(3)判断二极管的极性。一只理想的二极管元件,认为它的正向导通电阻为零,反向截止电阻为无穷,但实际上正、反向电阻都应具有一定的数值。一般锗管的正向电阻比较小,在几百 Ω 以下,硅管的正向电阻较大,在 $1k\Omega \sim$ 几 $k\Omega$ 。一只二极管的正、反向电阻相差越大,说明二极管的质量越好。当二极管的正、反向电阻值相差不多时,则说明二极管的质量太差,一般不能使用,若二极管的正、反向电阻值相同,则说明二极管已坏,不可使用。由于二极管是非线性元件,因此采用不同的欧姆挡测出的正、反向电阻值是不一样的。

如果事先不知道二极管的正负极,则可用欧姆挡来确定。在二极管的两端分别接上万用表的红、黑表笔比较所测的阻值,确定较小阻值时的接法。这时黑表笔所接端为二极管的正极,红表笔所接为二极管的负极。另外,对于耐压低、电流小的二极管,只能用 $\times 100$ 或 $\times 1k$ 挡进行测量,如用 $\times 1$ 挡,流过管子的电流太大,用 $\times 10k$ 挡,表内电池电压较高,都可能损坏管子。

(4)判断三极管的极性。如果不知道某个三极管的型号和管脚排列,那么采用测极间电阻的方法也能很快地找到答案。

首先判断基极,无论是 PNP 型管还是 NPN 型管,内部都包括两个 PN 结,即集电结和发射结,而 PN 结是单向导电的。测试时可假定某一管脚为基极,将黑色表笔接“基极”红表笔分别接另两极,如果测得均为低阻值,则黑表笔接触的就是基极 b,且为 NPN 型(若为高阻值,则为 PNP 型),如果测量时两次的阻值相差很大,可假定一个管脚为基极,直到符合上述条件为止。

第二步,判断集电极 c 与发射极 e。若确定管型为 NPN 和基极后,在剩下的两个管脚中,先假定一个为集电极,另一个为发射极,用手将表笔搭接在 c、e 两端,并记下此时欧姆表偏转的位置,然后将假设反过来,即 c、e 脚对换(电阻挡位不变),记下表针偏转的位置,两次测量中电阻小的那次黑表笔所接的即是管子的 c 脚,则另一端为 e 脚。

6. 音频电平挡的使用

利用音频电平(dB)挡可以测量标准负载时功率增益。标准负载是指负载阻抗正好是 600Ω 。将红表笔插入到“dB”,黑表笔插入到“*”,左边和右边的转换开关旋至交流电压挡及其对应的量程上,将两只表笔并接在负载两端就可进行测量了。如果使用的是交

流 10V 挡,指针所指的就是测量结果,如果使用的是交流 50V 挡或交流 250V 挡,就应该在指针读数上再分别加上 14dB 或 28dB。

四、指针万用表的使用技巧

1. 量程的选择与测量精度的关系

我们知道,误差有绝对误差与相对误差之分,仪表的绝对误差用 ΔX 表示,它是仪表的指示值 X 与实际值 A (标准仪器的指示值)之差,即 $\Delta X = X - A$,相对误差用 r_x 表示,它是绝对误差 ΔX 与仪表的指示值 X 的百分比,即

$$r_x = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

另外,引用满度相对误差这一概念,满度相对误差用符号 r_m 表示,它是绝对误差 ΔX 与仪表的满度值 X_m 的百分比值,即

$$r_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\%$$

满度误差通常表示电工仪表的准确度等级,即表示满度相对误差值。

若有某型号万用表,由其表头符号可知,其测量直流电压时的准确度等级是 2.5 级,即说明该表在测量直流电压时各挡的满度相对误差不超过 $\pm 2.5\%$,由于满度相对误差是由绝对误差 ΔX 与一常数 X_m (量程上限)的比值来表示的,故给出了满度相对误差值也就给出了绝对误差值。那么,对于直流电压的 10V 挡,由于已知满度的相对误差是 $\pm 2.5\%$,则可知该挡的绝对误差是 $10V \times (\pm 2.5\%) = \pm 0.25V$,这说明此表 10V 挡上各点的绝对误差不超过 $\pm 0.25V$ 。而对于万用表的 2.5V 挡上各点的绝对误差则为 $2.5V \times (\pm 2.5\%) = 0.0625V$ 。

由此可见,用 2.5V 挡测直流电压时的绝对误差值比用 10V 挡要小得多,所以在使用指针式仪表时,一般情况下应使仪表的量程尽量接近被测量的值(电表指针指示最好处于表头标尺满度的 2/3 到满度位置)这样测量的误差就较小,万用表测量直流电压、交流电压、直流电流、音频电平时,量程的选择与测量精度的关系一般都遵循这个规律。

2. 被测电路的阻抗与测量结果的关系

用万用表测量直流电压或交流电压时,其表头内阻是与被测电路相并联的,在万用表的输入内阻远大于被测电阻的情况下,万用表对被测电路工作状态的影响可忽略不计。万用表的内阻可由其表头所标的 Ω/V 可知,直流电压灵敏度为 $20k\Omega/V$,所以 2.5V 挡的内阻为 $2.5V \times 20k\Omega/V = 50k\Omega$,10V 挡的内阻为 $10V \times 20k\Omega/V = 200k\Omega$ 。如果被测电路如图 2-9 所示,电阻 R_1 的阻值为 $10k\Omega$,当用万用表的 2.5V 挡对其进行测量时,万用表 2.5V 挡的内阻为 $50k\Omega$,所以此时被测电阻 R_1 为 $10k\Omega$ 与 $50k\Omega$ 的并联值 R_1' ,则 $R_1' = 8.3k\Omega$;当用 10V 挡进行测量时,则相当于 $200k\Omega$ 的万用表内阻并联在 R_1 两端,其并联值为 $10k\Omega // 200k\Omega = 9.5k\Omega$,使用不同的量程进行两次测量,都使原来的被测电阻值降低了,因此, R_1 两端的电压也就低于未并联万用表时的电压值,就两次测量结果相

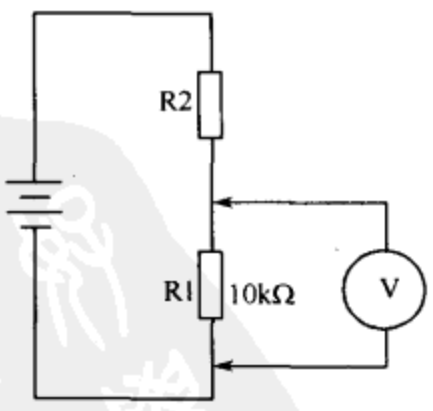


图 2-9 测量电路

对比较而言,由于万用表 10V 挡的内阻是 2.5V 挡内阻的 4 倍,所以万用表置于 10V 挡,相对置于 2.5V 挡时对电路的影响小一些,因此,在用万表进行测量时,在被测电路阻值比较高的情况下,可以考虑选用高输入电阻的量程(即高挡量程)进行测量,以尽量减小测量误差。

3. 被测量信号的频率与测量结果的关系

万用表本身有自己的频率使用范围,通常在 45Hz~1000Hz,这说明万用表只适宜测量 45Hz~1000Hz 范围内的正弦信号,如果被测信号的频率低于 45Hz 或高于 1000Hz,则测量结果的准确度就不能保证,特别是当被测信号的频率超过允许上限频率时,由于万用表内分布电容的影响,电表指示将偏小,因此超过使用频率范围的测量,最多只有对同类信号作相对比较的意义。

五、指针万用表使用注意事项

万用表属于常规仪器,使用人员多,而且使用频繁,稍有不慎,轻则损坏表内的元器件,重则损坏表头,甚至危及人的生命安全。因此,在使用万用表的时候,要格外小心,要注意以下几个方面。

1. 要全面了解万用表的性能

在使用万用表之前,必须详细地阅读使用说明书,了解每条刻度线所对应的量程,熟悉各转换开关、旋钮、测量插孔、专用插座的作用。

万用表有水平放置和竖直放置之别,不按规定的要求放置,会引起倾斜误差。按规定的要求放置后,当指针不在机械零点时,应调整表头下方的机械调零旋钮,使指针回零以消除零点误差。另外,在使用内装运算放大器的万用表之前,如 MF101,需分别进行机械调零和放大器调零,使用欧姆挡时还要调整欧姆零点。

2. 测量前应注意事项

首先要确定测什么和怎样测,然后,正确选择测量项目和量程。如果不能估计被测对象的大小,应将量程转换开关旋至最大挡,不合适再依次递减,使指针在刻度线起始位的 20%~80% 范围内即可。在每一次拿起表笔准备测量时,务必再核对一下测量项目及量程开关是否合适,使用专用插座时要注意选择正确,以免烧坏万用表。

3. 测量电压应注意的事项

测量电压时应将两表笔并联在被测电路的两端,测量直流电压时应注意电压的正、负极性。如果不知道极性,应将量程旋至较大挡,迅速地检测一下,如果指针向左偏转,说明极性接反,应该将红、黑表笔调换(在这种情况下,如果有数字表最好使用数字万用表)。

当被测电压高于几百伏时,必须注意安全,要养成单手操作的习惯。事先把一只表笔固定在被测电路的公共端,用另一只表笔去碰触测试点。要保持精力集中,避免触电。测量 1000V 以上的高压时,应把插头插牢,避免因插头接触不良而造成打火,或因插头脱落而引起意外事故。测量显像管上的高压时,要使用高压探头,确保安全。高压探头有直流和交流之分,其内部均有电压衰减器,可将被测电压衰减 10 倍或 100 倍,高压探头的顶部均带有弯钩或鳄鱼夹,以便于固定。严禁在测较高电压时转动量程开关,以免产生电弧,烧坏转换开关的触点。

假如误用直流电压挡去测交流电压,指针不动或稍有摆动;假如用交流电压挡去测量

直流电压,读数回偏高 1 倍。

电压挡的测量误差以满量程的百分数表示,因此在测量时应使指针有最大限度的偏转,这样测量误差最小。

4. 测量电流应注意的事项

在测量电流时,要与被测电路串联,切勿将两只表笔跨接在被测电路的两端,以防止万用表损坏。测量直流电流时应注意电流的正、负极性(极性的判别以及量程的选择同直流电压挡的使用)。若负载电阻比较小,应尽量选择高量程挡,以降低内阻,减小对被测电路的影响。

5. 测量电阻应注意的事项

测量电阻时要将两只表笔并接在电阻的两端,严禁在被测电路带电的情况下测量电阻,或用电阻挡去测量电源的内阻,这相当于接入一个外部电压,使测量结果不准确,而且极易损坏万用表。

每次更换欧姆挡时,均应重新调整欧姆零点。当 $R \times 1$ 挡不能调整到零点时,应立即更换电池,并且要注意电池的极性,如果手头没有新电池可更换,应将测量值再减去零点误差。由于电阻挡的刻度程非线性,越靠近高阻端刻度越密,读数误差也越大,因此,在测量的过程当中,要正确选择量程,使得指针的偏转最好在中心值附近,这时误差最小。

用高阻挡测量大电阻时,不能用手捏住表笔的导电部分,以免对测量结果的影响。

在使用的过程当中,应尽可能地避免两只表笔短路,以免空耗电池。

在用电阻挡测量电解电容器的性能时,要先放电再进行测量,以免烧坏表头。由于万用表 $R \times 10k$ 挡采用 1.5V 和 9V 两块电池串联使用,因此不宜测量耐压很低的元器件,如耐压 6V 的小电解电容器。

测量二极管、三极管、稳压管时,首先要注意两只表笔的极性,黑表笔接内部电池的正极,红表笔接电池的负极,一旦两表笔的极性接反,测量结果会迥然不同;再者,采用不同量程测量其等效电阻时,测量的结果也不同,这是因为非线性器件对不同的测试电流呈现出不同的等效电阻,是正常现象。

6. 维护应注意的事项

万用表在使用完毕或在携带过程当中,应将万用表的量程开关拨至最高电压挡,防止下次使用时不慎损坏万用表。而有些万用表设置了相应的开关,如 500 型万用表,电表两只转换开关上各有一个“·”(早期的 500 型万用表只有右边的旋钮有“·”)。当右边的旋钮旋至此处时,表内电路呈开路状态,可以防止有人不会使用或粗心大意损坏万用表,用完后再把右边的旋钮旋至“·”处;当左边的旋钮旋至此处时,表头被短路,使得指针的阻尼作用得到加强,抗震能力得到提高,所以在携带或运输的时候,要把右边的旋钮旋至“·”处。也有些万用表设置了“OFF”开关,如 MF64 型,使用完毕后应将功能开关拨至此挡,使表头短路,起到防震保护作用。需要注意的是,带运算放大器的万用表,此“OFF”挡代表电源的开关。

万用表应在干燥、无振动、无强磁强以及适宜的温度和湿度环境下存放和使用万用表。潮湿的环境容易使绝缘度降低,还能使元器件受潮而性能变劣;机械振动容易使表头中的磁钢退磁,导致灵敏度降低;在强磁场附近使用万用表会使测量误差增大;环境温度过高或过低,不仅能使整流管的正、反向电阻发生变化,改变整流系数,还能影响表头灵敏

度以及分压比和分流比,产生附加温度误差。

第三节 数字万用表的结构与使用

虽然万用表的种类很多,但使用的程序和方法却基本一致,下面以 500 型指针万用表和 DT890D 型数字万用表为例,分别介绍指针万用表和数字万用表的使用方法和注意事项。

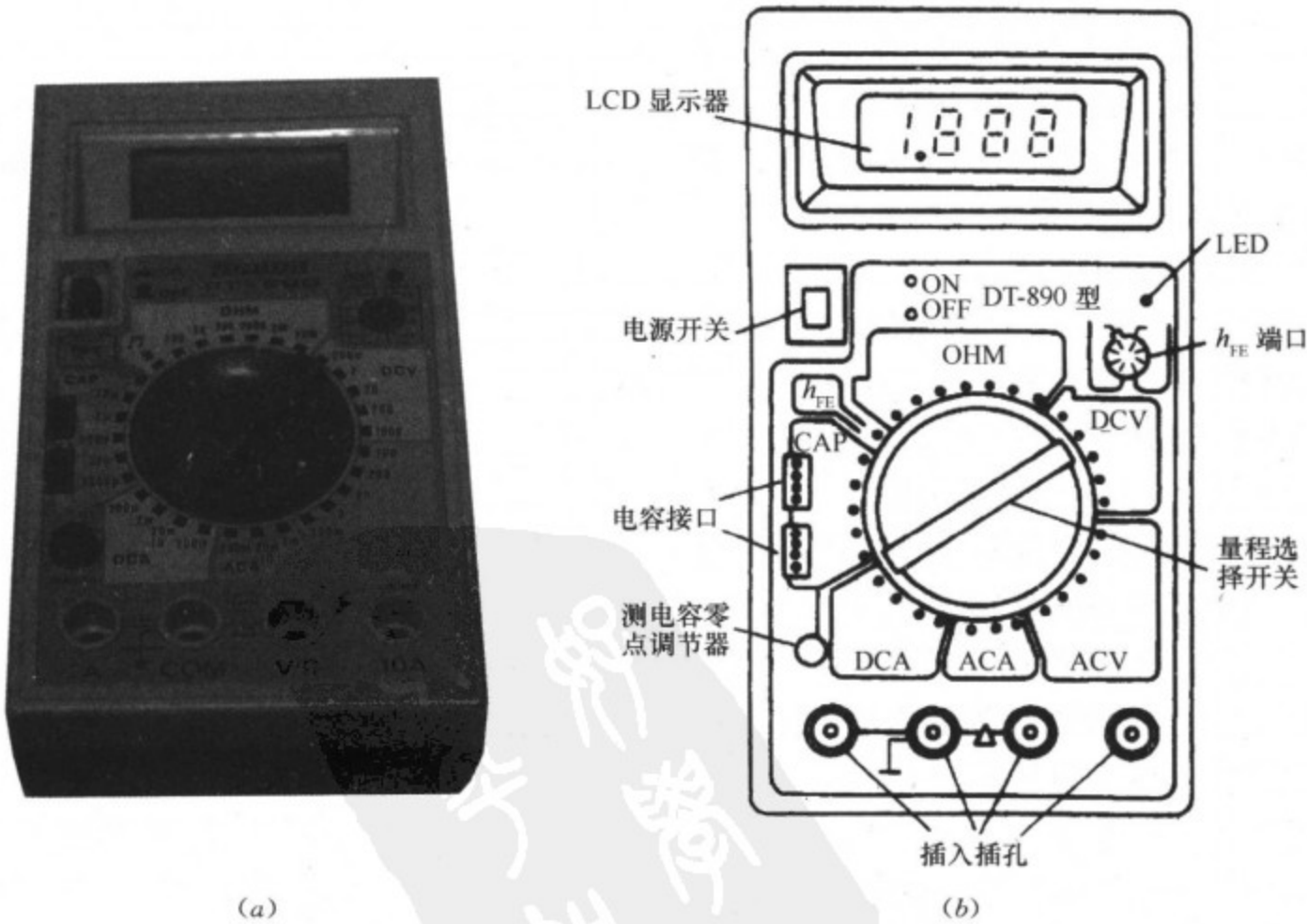
一、数字万用表的结构

数字万用表采用了大规模集成电路和液晶数字显示技术,与指针万用表相比,表的结构和原理都发生了根本的改变,具有体积小、耗电省、功能多、读数清晰和准确等优点,因此受到广大无线电爱好者的青睐。

在常用的数字万用表中,以 $3\frac{1}{2}$ 位和 $4\frac{1}{2}$ 位袖珍式较多。所谓 $3\frac{1}{2}$ 读作“三位半”。其含义是最高位只能显示“1”或不显示即称为“半位”,其他 3 位显示 3 位十进制数,也就是说, $3\frac{1}{2}$ 位数字万用表能显示的最大数字为 1999(不考虑小数点)。

在数字万用表中,DT890 是价格较低和较为普及的仪表,DT890 是 $3\frac{1}{2}$ 位数字万用表。

DT890 数字万用表实物和面板如图 2-10 所示。



(a)

(b)

图 2-10 DT890 型数字万用表的实物面板

(a)DT890 型数字万用表实物;(b)DT890 型数字万用表面板。

DT890 有 30 个基本挡和 2 个附加挡,可用来测量直流电压(简称 DCV,有 200mV、2V、20V、200V、1000V 5 挡),交流电压(简称 ACV,有 200mV、2V、20V、200V、700V 5 挡),直流电流(简称 DCA,有 200 μ A、2mA、20mA、200mA 和附加 10A 5 挡),交流电流(简称 ACA,有 2mA、20mA、200mA 和附加 10A 4 挡),电阻(简称 OHM,有 200 Ω 、2k Ω 、20k Ω 、200k Ω 、2M Ω 和 20M Ω 6 挡),电容(简称 CAP,有 2000pF、20nF、200nF、2 μ F 和 20 μ F 5 挡),还有一挡用二极管符号和音乐符号表示,是二极管和蜂鸣器共用挡,用来检测二极管的好坏和线路的通断,测量三极管的 h_{FE} 时,采用 8 芯插座,分为 NPN 和 PNP 二挡。

从面板上看,数字万用表主要由液晶显示器、量程转换开关和表笔插孔等组成。

1. 液晶显示器

不同厂家生产的万用表,其液晶显示器(LCD)所显示的内容也各有不同,主要有测量项目显示、测量数字显示、计量单位显示、状态显示等,除数字显示以外,其他内容的显示都是以字母或符号表示。从液晶显示屏上可以直接读出测试结果和单位,避免了在使用指针表时人为的读数误差以及测量结果的换算等。

重点提示 在测量直流电压或直流电流时,如果读数为负值表示红表笔和黑表笔极性接反,此时也不必交换表笔重新测量;如果只显示最高位的“1”,表示超量程,应当换用高挡位,在换用量程之后要注意小数点位置的变化,以免读错结果。在测量开始 1s~2s 内显示的数字会反复跳动也是正常现象。显示屏如果无任何显示,要检查电池及开关是否接触良好,在使用过程中,如果液晶显示屏显示电池电压不足,要打开后盖螺丝,用同一型号的 9V 新电池换之即可;如果只显示固定的数值,要检查万用表是否处于保持状态。

2. 转换开关

数字万用表量程转换开关在表的中间,量程开关和功能开关合用一只开关,并且功能多、测量范围广,能测量交/直流电压、交/直流电流、电阻、三极管的放大倍数、电容器的容量、电路的通断。与指针万用表不同的是,数字万用表还增加了交流电流和电容量测试等挡位。

在数字万用表中,量程挡的首位数几乎都是 2,如 200 Ω 、2V、20 μ F、20mA 等。假如测量结果只显示“半位”上的读数“1”,表示被测数值超过了该量程的测量范围(这种现象称为溢出),说明量程选得太小,应换高的量程。注意:在测量电压或电流的时候,不能确定被测数值范围的情况下,应首选高挡位。

数字万用表相邻的两个挡位之间的距离一般很小,很容易造成跳拨和错拨,因此在转换量程的时候要慢,不要用力过猛,到位后要来回晃动一下看是否接触良好。严禁在测量的同时拨动量程开关,特别是在高电压、大电流的情况下,以防产生电弧烧坏量程开关。

3. 表笔插孔

表笔插孔一般有 4 个。标有“COM”字样的为公共插孔,应插入黑表笔,标有“V/ Ω ”字样的应插入红表笔,以测量电阻值和交直流电压值。测量交直流电流还有 2 个插孔,分别为“A”和“10A”,供不同量程挡选用,也应插入红表笔。

二、DT890 数字万用表的使用方法

1. 电阻挡的使用

将红表笔插入 V/ Ω 插孔,黑表笔插入 COM 插孔,将功能开关旋至 Ω 挡相应的量程。

当无输入时,如在开路的情况下显示屏显示“1”。如果被测电阻值超出所选择量程的最大值,显示屏也将显示“1”,应选择更高的量程。对于大于 $1\text{M}\Omega$ 或更高的电阻,要过几秒后读数才能稳定,这是正常现象。在测量高阻值时,应减去误差,如使用 $200\text{M}\Omega$ 挡测量 $100\text{M}\Omega$ 的电阻值时,测量的结果应减去表笔短路时显示的数字。

与指针万用表相比,使用数字万用表测量电阻值时,在任何挡位都无需调零,读数直观、准确、精确度高。如测量一只标有 $47\text{k}\Omega$ 的电阻,将量程转换开关旋至 $200\text{k}\Omega$ 挡,打开表的电源开关,这时显示“1”,将表笔跨接在电阻的两端,读数最后稳定在 $45.4\text{k}\Omega$,这就是测量结果。由于电阻值的误差和表的误差导致了测量结果和电阻标注值存有差异,由此也不能说明电阻值不准或万用表测量不准。

2. 直流电压挡的使用

将红表笔插入 V/Ω 插孔,黑表笔插入 COM 插孔,将功能开关旋至被测直流电压相应的量程,量程的选用与指针万用表相同。但当被测电压的极性接反时,数值的结果前面会显示“-”,此时不必调换表笔重测。

如果显示屏只显示“1”,表示被测电压超过了该量程的最高值,应选用更高的量程。不要测量 1000V 以上的电压值,否则容易损坏内部电路。

3. 交流电压挡的使用

将红表笔插入 V/Ω 插孔,黑表笔插入 COM 插孔,将功能开关旋至被测交流电压相应的量程,其他方法与测直流电压基本相同。注意:不要测量 700V 以上的电压值,否则容易损坏内部电路。

4. 直流电流挡的使用

将黑表笔插入 COM 插孔,当测量电流的最大值不超过 200mA 时,将红表笔插入 mA 插孔,当测量电流的最大值超过 200mA 时,将红表笔插入 10A 插孔。将功能转换开关旋至直流电流相应的量程,再将两表笔串连在被测电路中,便可测量出结果。

5. 交流电流挡的使用

将功能转换开关旋至交流电流相应的量程,其他方法与直流电流的测量方法相同。

6. 电容挡的使用

将功能转换开关置于电容量程,将电容器直接插入电容测量插座“CX”中,便可显示测量结果。注意:万用表本身对电容挡设置了保护电路,在测试过程当中,不用考虑电容的极性和放电情况。测量较大的电容时,稳定读数需要一定的时间。

7. h_{FE} 挡的使用

将待测三极管插入 NPN(用于测 NPN 三极管的 β 值)或 PNP(用于测 PNP 三极管的 β 值)插孔中,显示屏上显示的数值即为被测三极管的 β 值。

8. 数字万用表的妙用

(1)蜂鸣器和二极管挡的使用。将红表笔插入 V/Ω 插孔,黑表笔插入 COM 插孔,功能转换开关旋至蜂鸣器和二极管挡,便可进行测量。该挡有以下两项功能。

①判断线路的通断。将两表笔跨接在线路的两端,蜂鸣器有声音时,表示线路导通($R \leq 90\Omega$),如果没有声音表示线路不通。

②判断二极管的好坏、极性、正向压降值。将红、黑表笔分别接二极管的两端,如果显示溢出,表示反向,再交换表笔,这时显示的数值为二极管的正向压降值,红表笔所连接的

一端为正极,另一端为负极,同时也可以根据正向压降的大小判断二极管的制作材料,一般情况下锗管的正向压降为 $0.15\text{V}\sim 0.3\text{V}$,硅管为 $0.5\text{V}\sim 0.7\text{V}$;如果以上两次测量均为溢出,表明此二极管已损坏。

重点提示 数字万用表与指针万用表不同的是,数字表的红表笔接内部电源的正极,黑表笔接负极,与指针万用表正好相反。在测量二极管时不要误判。

(2)发光二极管的检测。利用数字万用表检测发光二极管有两种方法。

①将红表笔插入 V/Ω 插孔,黑表笔插入COM插孔,功能转换开关旋至蜂鸣器和二极管挡,用红、黑表笔分别接触发光二极管的正、负极,在显示正向压降的同时,发光二极管还能被点亮而发出微光。

②将发光二极管的两引脚分别插入 h_{FE} 插座的C、E检测孔,若二极管不亮,对调一下,则说明该二极管是好的,反之则说明二极管时坏的。能亮时,在NPN挡插入C孔的是正极,在PNP挡插入E孔的是正极。

(3)晶振的检测。用电容挡测其容量,在 $200\text{pF}\sim 300\text{pF}$ 为好。容量大于此值表明晶振漏电,容量小于此值为破碎,无容量为极间断路。

(4)三极管管脚的判别。用蜂鸣器和二极管挡检测三极管的好坏。拨到“蜂鸣器和二极管”挡,用表笔测PN结,如果正向导通,则表上显示的数字即为此PN结的正向压降。压降大的为发射结,压降小的为集电结。如果红表笔接的是公共极,则被测三极管为NPN型,且红表笔所接的极为基极;如果黑表笔接的是公共极,则被测三极管为PNP型,且黑表笔所接的极为基极。

(5)可控硅的检测。在 h_{FE} 挡时,用NPN座测量,将可控硅的阳极引线插入C孔内,阴极插入E孔内,控制极空着,这时显示应为“0”,如果显示在千位为“1”,则表明可控硅已击穿。当显示为“0”时,把控制极接到阳极上,这时显示在千位数上有“1”,或除千位数上有“1”显示外,后3位数也有数字闪动,则表明可控硅已导通。断开控制极与阳极的连线,把阳极在C孔内的线拆下,再插入,重复上述方法,显示数值从“0”变到千位“1”,则说明可控硅是好的。

(6)电解电容的检测。拨到电容检测挡,两只表笔分别与被测电容的两只引脚接触,如果表内蜂鸣器急速地响了一下,对换表笔又响了一下,同时显示指示为“1”,则说明该电容器是好的;如果响声不断,则说明该电容漏电或内部短路;反复对换表笔,表内始终不响,总是显示“1”,则说明该电容断路。

利用数字万用表可以迅速选配中周调谐电容。数字万用 2000pF 挡的最小分辨力为 0.1pF ,可以准确测量小瓷介电容,并估计其温度系数。彩电中 38MHz 中周和AFT中周频率稳定度非常重要,而它配用的谐振电容的温度系数直接影响频率的稳定。曾对不同产地的 68pF 瓷介电容,分别在室温 10°C 和用手指捏住瓷片加体温两种状态下测其容量,二者的差值在 $0.3\text{pF}\sim 2\text{pF}$ 。经实验,选取 0.3pF 差值的瓷介电容作谐振电容较好,以补偿线圈微小的正温度系数。

9. 指针万用表和数字万用表的合理使用

由于指针万用表和数字万用表在结构和原理上的不同,决定了它们在性能上各有差异,因此在实际的维修过程当中,要根据实际需要合理使用不同类型的万用表。

(1)在线测量电压时,选用的万用表内阻越高越好,这样对电路的影响就越小,因此数

字万用表为首选,对于精度要求较高的测量尤其如此,如测量彩电的调谐电压、开关电源的振荡管,色解码集成电路等。但在测行输出级电压时,有些数字万用表会出现显示读数失常的现象。

(2)测量小阻值电阻时宜用数字万用表,因为数字万用表的输入阻抗很高,对输入信号无衰减作用。当被测量电阻阻值较大时,指针万用表也完全能胜任,但对精度要求较高的电阻,就只能使用数字万用表了。如测量限流电阻、彩色电视机电源开关管的负反馈电阻等。

(3)要准确地测量电容器的容量,就只能使用数字万用表。用指针万用表电阻挡测量电容器的容量时,只能靠经验或对比粗略地判断其容量,对几百 pF 以下的电容,指针万用表在 $\times 10k$ 挡时也毫无反应,对 2000pF 以上的电容器,也只能用万用表的 $\times 10k$ 挡进行测量,通过指针的摆动来判断电容器容量的有无。在测试电容器的耐压或软击穿情况时,指针万用表 $\times 10k$ 挡内电池电压较高,接近有些电容器的工作条件,容易损坏电容气。

(4)数字万用表测试一些连续变化的电量和过程,不如指针万用表方便直观。如测量电容器的充、放电过程,热敏电阻,光敏二极管等。

(5)两种万用表都能测试二极管和三极管。数字万用表能够准确地测出它们 PN 结的压降,也能够较准确地测量出小功率三极管的 h_{FE} 值。但估测二极管、三极管的耐压和穿透电流时宜用普通指针万用表。测量发光二极管时,使用数字表既能判断其好坏,又能够判断其正、负极。

(6)用电阻法测量集成块和厚膜电路时宜用指针万用表。

从以上可以看出,指针万用表和数字万用表虽然各有优势,但不能相互代替,在维修的过程当中,要注意取长补短,配合使用。

三、数字万用表使用注意事项

数字万用表属于精密电子仪器,尽管有比较完善的保护电路和较强的过载能力,使用时仍应力求避免误操作,应倍加爱护。使用时要注意以下几个方面。

1. 要全面了解万用表的性能

使用前要认真阅读使用说明书,熟悉电源开关、量程转换开关、各种功能键、专用插座及其他旋钮的作用和使用方法;熟悉万用表的极限参数及各种显示符号所代表的意义,如过载显示、正负极性显示、表内电池低电压显示等;熟悉各种声、光报警信息的意义。

有些数字万用表有自动关机功能,当万用表停止使用超过 15min 时,能自动切断主电源,使万用表进入低功耗的备用状态,此时万用表不能继续进行测量,显示屏没有任何显示,必须连续按两次电源开关,才能恢复正常工作。有些新型数字万用表设置了读数保持开关,具有读数保持功能,方便了读数和记录。假若万用表只显示某一数值而不随测量发生变化,这是因为误按了该键,弹起该键即可转入正常测量状态。

2. 测量前要注意的事项

测量前首先要明确要测量什么和怎样测,然后再选择相应的测量项目和合适的量程。尽管数字万用表内部有比较完善的保护电路,仍要避免出现误操作,每一次拿起表笔准备测量时,务必再核对一下测量项目及量程开关是否合适,使用专用插座时要注意选择正确。例如,用电流挡去测电压、用电阻挡去测电压或电流、用电容挡去测带电的电容等,以

免损坏仪器。

万用表开机后不显示任何数字,首先应检查 9V 层叠电池及引线。开机后显示低电压符号,应及时更换电池,安装时要注意电池的极性。更换电池前,要先关闭电源。更换熔丝管时,必须与原来的保持一致。

3. 测量电压时应注意的事项

测量电压时,数字万用表的两表笔应并接在被测电路两端。假如无法估计被测电压的大小,应选择最高的量程试测一下,再选择合适的量程。若只显示“-1”,其他位消隐,证明已发生过载,应选择较高的量程。若被测交流电压上叠加有直流分量时,二者电压之和不得超过所用 ACV 挡的最高值,必要时可加隔直电容,使直流分量不能进入测量电路。在测量直流电压时,可以不考虑表笔的极性,因为数字万用表具有自动转换并显示极性的功能。测量完毕后,应将量程开关旋至电压最大挡,以免下次使用时,因无操作而损坏了电表。

误用 ACV 挡去测直流电压,或用 DCV 挡去测交流电压,万用表可显示“000”,或在低位上出现跳数现象。由于数字万用表电压挡的输入阻抗很高,当其两输入端开路时,因外界干扰信号的输入,其低位也会显示没有变化规律的数字,属于正常现象。

不得使用万用表的直流电压挡来检查自身 9V 层叠电池的电压。

4. 测量电流应注意的事项

测量电流时,一定要注意将两只表笔串接在被测电路的两端,以免损坏万用表。测量直流电流时,跟测量直流电压一样,万用表可以自动转换并显示电流的极性,因此不必考虑电流的方向。

5. 测量电阻应注意的事项

使用电阻挡时,红表笔接 V/ Ω 插孔,带正电,黑表笔接 COM 插孔,带负电。这与指针万用表正好相反,因此在检测二极管、三极管、电解电容等有极性的元器件时,要注意表笔的极性,而且由于各电阻挡的短路电流不尽相同,用不同的电阻挡测同一只非线性器件时,测得的结果会有差异,这是正常现象。由于数字万用表电阻挡所提供的测试电流较小,测二极管正向电阻时要比用指针万用表测得的值高出几倍,甚至几十倍,这也是正常现象。此时,建议改用二极管挡去测 PN 结的正向电压,已获得准确结果。

利用高阻挡测量大阻值电阻时,显示值需要经过一定时间才能稳定下来,这属于正常现象。测量的结果应当等于稳定的显示值减去零点的固有误差。利用低电阻挡测量小阻值的电阻时,应先将两只表笔短路,测出两只表笔引线的电阻值,测量的实际结果应等于显示值减去此值。另外,有些新型的万用表增加了低功率法测电阻挡,符号为“LO Ω ”或“LOWOHM”。该挡的开路电压低于 0.3V,不会使硅管导通,因此适合测量在线电阻,不必考虑被测电路中硅管的影响。

利用蜂鸣器可以快速测量电路的通断。当被测电路的电阻值低于发声阈值时,蜂鸣器即可发出音频振荡声。利用此法有一定的偏差,应以实测值为准。

严禁在被测线路带电的情况下测量电阻,也不允许直接测量电池的内阻,因为这相当于给万用表加了一个输入电压,不仅使测量结果失去意义,而且容易损坏万用表。

6. 使用其他功能应注意的事项

利用电容挡测量有极性的电解电容时,电容插座的极性应与被测电容的极性保持一

致,测量前必须先放电,再进行测量。新型的数字万用表采用容抗法测量电容的容量,实现了自动调零,不必考虑电容挡的零点误差,早期的电表(如 DT890、DT890A 等),使用前首先要调整零点,更换电容挡时也需要重新调整零点。

利用 h_{FE} 插孔测量小功率晶体管的电流放大系数时,管子的 3 个电极和选择的挡位应保持一致,不得搞错。因为测试电压较低, h_{FE} 插孔提供的基极电流又很小,使得被测管工作在低电压、小电流状态下,因此测量结果仅供参考。

利用频率挡测量频率时,被测信号的有效值应大于 50mV 而小于 10V,由于频率挡的输入阻抗较高,不接信号时也可能有一定读数,但这并不影响正常测量。

7. 数字万用表的维护

(1)禁止在高温、阳光直射、潮湿、寒冷、灰尘多的地方使用或存放万用表,以免损坏液晶显示器和其他元器件。液晶显示屏长期处于高温环境下,表面会发黑,造成早期失效。潮湿的环境则容易造成集成电路、线路板的锈蚀、漏点,使测量误差明显增大,甚至引发短路故障。

(2)若发生故障,应对照电路进行检修,或送有经验的人员维修,不得随意打开万用表拆卸线路,以免造成人为故障或改变出厂时已调好的技术指标。修理完毕后要进行校准。另外,有些万用表后盖上贴有屏蔽层,请勿揭下或拆掉引线;有的装有金属屏蔽层或屏蔽胶罩,要注意紧固螺丝或摆正压簧,否则容易引入外界电磁干扰,影响屏蔽效果。

(3)清洗表壳时,可用酒精棉球清洗污垢,不得使用汽油、丙酮等有机溶剂。

(4)长期不用应将电池取出,以免电池渗液而腐蚀线路板。

第四节 毫伏表简介

在电子实验及仪器设备的检修和调试中,所要测量的电压信号的频率往往从 0.00001Hz~数千 MHz,幅度小到毫微伏、大到几百上千伏,采用普通的万用表很难进行有效测量,必须借助于专用的电子电压表,亦即毫伏表来进行测量。

毫伏表的种类很多。按测量频率分,可分为低频电子电压表、高频电子电压表;按测量结果的显示方式分,可分为模拟指针式电子电压表、数字式电子电压表等。下面以 DA-16FS 型双路晶体管毫伏表为例进行简要介绍。

一、DA-16FS 型双路晶体管毫伏表的原理

DA-16FS 型双路晶体管毫伏表是一种典型的放大—检波式电子电压表,采用磁电式电流表作为指示器,能测量交流信号的电压值。其基本原理是,先将被测交流信号放大,再进行检波,最后通过直流表头指示读数。

其放大电路一般采用多级宽带交流放大器,灵敏度很高,可测几十 μV ~几百 μV 的电压,频率上限可达 1MHz。交直流转换器常采用平均值检波器,平均值检波器具有电路简单、灵敏度高和波形失真小等特点。

二、DA-16FS 型双路晶体管毫伏表的工作特性

DA-16FS 型双路晶体管毫伏表的主要工作特性如下。

(1)测量电压范围: $100\mu\text{V}\sim 300\text{V}$ 。量程为: 1, 3, 10, 30, 100, 300mV; 1, 3, 10, 30, 300V 共 11 挡。

(2)测量电平范围: $-72\text{dB}\sim 30\text{dB}(600\Omega)$ 。

(3)被测电压频率范围: $20\text{Hz}\sim 1\text{MHz}$ 。

(4)固有误差: 小于 3%(基准频率 1kHz)。

(5)频率响应误差: $20\text{Hz}\sim 100\text{kHz}$ 小于 $\pm 3\%$ 、 $100\text{kHz}\sim 1\text{MHz}$ 小于 $\pm 5\%$ 。以上误差均为满度值之百分比。

(6)输入阻抗: 在 1kHz 时输入电阻大于 $1\text{M}\Omega$ 。

(7)输入电容: 在 $1\text{mV}\sim 0.3\text{V}$ 各挡约 70pF、 $1\text{V}\sim 300\text{V}$ 各挡约 50pF(包括地线电容在内)。

(8)使用电源: $220\text{V}, 50\text{Hz}\pm 4\%$ 消耗电力 3W。

三、DA-16FS 型双路晶体管毫伏表的使用

1. 面板介绍

DA-16FS 型双路晶体管毫伏表的面板如图 2-11 所示。

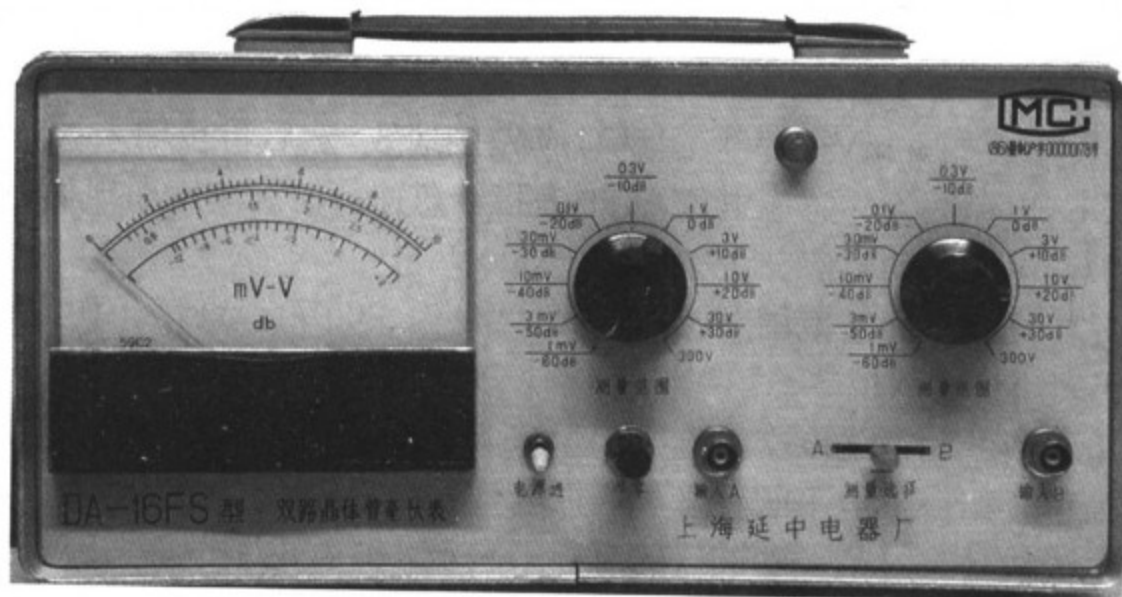


图 2-11 DA-16FS 型双路晶体管毫伏表的面板

面板的控制装置作用如下。

(1)量程选择开关。供测量时选用。各量程中并列有分贝数,是毫伏表作电平测量时读分贝数用的。

(2)输入接线柱。有 A、B 两路输入接线柱,用于输入信号电压。

(3)通道选择开关。选择测量通道。此开关拨到 A 通道此时,表头显示 A 通道电压测量值;打到 B 通道,表头显示 B 通道电压测量值。

(4)零点调整旋钮。它是仪器检波电路中的一个电位器。当仪器输入信号电压为零时(即两输入端接线柱短路时),电表指示应为零,否则应调整。

(5)表头及其刻度。表头上有 3 条刻度线,供测量时读数的调换。第 1 条 $0\text{dB}\sim 10\text{dB}$ 刻度线,它是 1, 10, 100mV, 1V, 10V 5 挡量程的读数刻度。第 2 条 $0\text{dB}\sim 30\text{dB}$ 刻度线,它是 3, 30, 300mV, 3V, 30V, 300V 6 挡量程的读数刻度。第 3 条是 $-12\text{dB}\sim +20\text{dB}$ 刻度线。

(6)电源开关与指示灯。用毫伏表测量其他波形电压,不能从毫伏表上直接读出电压

有效值,但根据表的指针读数经过换算可以得到其他波形电压有效值。

2. 测量前的校正

测量前必须对电压表进行校准。校准步骤如下。

(1)机械调零。接通电源前,对表头进行机械零点的校准。

(2)电调零。接通电源后,指示灯亮,待电压指针摆动数次后,将测量选择置于 A(或 B)输入线短接,调节调零旋钮,使指针指在零位置上,即可进行测量。在测量电压时,应首先将量程开关置于合适挡位(一般先置于大量程挡,然后根据被测电压的大小,再逐步的减小到小量程挡),而后才能接入被测电压。这时表头指示值即为被测正弦电压的有效值。

注意事项 本仪器灵敏度较高,测量时应先接低电位端连线(即地线),然后再接高电位端连线。测量结束时,应先取下高电位端连线,再取下低电位端连线,避免因 50Hz 交流电的感应将表头指针打弯。同时要求接地点选得正确,接触良好,否则会引起很大的测量误差。由于电表度盘是正弦电压有效值刻度,如被测电压波形为非正弦波,测量电压读数就会引入一定误差。为了减小测量误差,测量时应选择合适的量程,使指针在满刻度的 1/3 以上的区域。

3. 测量电压

(1)将“量程范围”开关拨至所需测量范围。

(2)在低量程挡(如 1 mV~1V),测量时应先接地线,然后再接输入线,测量完毕,则以相反顺序取下,以免因人体感应电位,使电表指针急速打向满刻度而损坏表针。

(3)注意被测电压中的直流分量不得大于 300V。

(4)测量完毕,应将“测量范围”开关放到最大量程(300V),然后关闭电源。

4. 用毫伏表测量电平值

实际上,电平值的测量是以交流电压测量来实现的。为了能正确地利用毫伏表进行电平测量,先简单介绍一下电平的意义。表征电信号大小,除了电压、电流或功率外,还采用一个电压、电流或功率对某一基准值的对数来表示,即用“电平”这一相对值来表征。

1)电平的概念

常用的电平有两类,即电压电平和功率电平。每一类又分为绝对电平和相对电平。

(1)绝对电压电平。回路中任意两点间的电压与基准电压的比值再取对数称为该电压的绝对电压电平。用下式表示,即

$$L_v = 20 \lg \frac{V_x}{0.775} (\text{dB})$$

式中: V_x 为被测电压; 0.775V 称基准电压。

毫伏表上的读数是绝对电压电平的读数。

(2)相对电压电平。两电压之比值取其对数称相对电压电平。用下式表示,即

$$L_v = 20 \lg \frac{V_A}{V_B} (\text{dB})$$

(3)绝对功率电平。任意功率 P_x 与 600Ω 电阻上消耗 1mW 的功率之比称绝对功率电平。用下式表示,即

$$L_p = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} (\text{dB})$$

(4)相对功率电平。两功率之比值取其对数称相对功率电平。用下式表示,即

$$L_p = 10 \lg \frac{P_A}{P_B} (\text{dB})$$

通常规定在 600Ω 负载上输出 1mW 的功率作为零功率电平。零功率电平使负载上的电压为 $V_0 = 0.775\text{V}$ 这个电压数值即为零电压电平。

2) 电平与电压的关系

由上述电压电平定义,就可以很方便地得到它们之间的关系,对于一切电压表而言,如按一定的规律就能成为一个可以测量电压电平的电平表,电平的刻度是以 600Ω 的纯电阻消耗 1mW 的功率定义为 0dB 计算的,即 $0\text{dB} = 0.775\text{V}$ 。电平量程的扩大实际上与电压量程的扩大是相同的。但由于电压和电平是对数关系,所以当电压量程扩大 10 倍,并不等于电平量程扩大 10 倍。例如,电压量程扩大 N 倍,由电平公式可知 $L_v = 20 \lg \frac{V_A N}{V_B} = 20 \lg \frac{V_A}{V_0} + 20 \lg N$ 当 V_A 基准电压时(0.775V)取 $N = 10$,则

$$L_v = 20 \lg 1 + 20 \lg 10 = 0 + 20 = 20 (\text{dB})$$

即 $N = 10$,则 L_v 扩大 20dB 。可见,当电压量程扩大 10 倍,而电压则增加 20dB 。由此可见,电平量程的扩大可以通过相应的交流电压表的量程扩大来实现,其测量值应为表盘分贝标尺的读数再加上一个附加的分贝值。附加分贝值的大小应由电压量程的扩大倍数来决定。当电压量程扩大 10 倍、20 倍、50 倍、100 倍时,其附加分贝值就为 20dB 、 34dB 、 40dB 、 60dB 。表上的电平刻度是与交流电压的最低挡相对应的,通常是 10V 挡。但此毫伏表是 1V 挡,所以在 1V 挡上的 0.775V 刻度对应于 0dB 刻度。使用时,如果用 1V 挡,则直读电平值,若为其他挡则要指针值+附加值(即与量程并列的分贝数)。



第三章 电子示波器

电子示波器简称示波器,它能把人们无法直接看到的电信号的变化规律转换成可以直接观察的波形。示波器不仅能观测各种电信号的波形,而且还可以测试多种电量,如电压、电流、频率、周期、相位差、幅度、脉冲宽度等;它配上传感器又可以对压力、温度、速度、密度、光、声、磁效应等非电量进行测量。可见,示波器是一种用途十分广泛的电子测量仪器。本章主要介绍了目前市场上常见的几种模拟单踪示波器和双踪示波器,并对数字存储示波器作了简要介绍。

第一节 概 述

一、电子示波器的特点

我们可以把示波器简单地看成是具有图形显示的电压表。普通的电压表是在其度盘上移动的指针或者数字显示来给出信号电压的测量读数,而示波器则与其不同。示波器具有屏幕,它能在屏幕上以图形的方式显示信号电压随时间的变化,即波形。

示波器具有以下特点。

- (1)具有良好的直观性,可直接显示信号波形,也可以测量信号的瞬时值。
- (2)灵敏度高、工作频带宽、速度快,对观测瞬变信号的细节带来了很大的方便。
- (3)输入阻抗高(兆欧级),对被测电路的影响小。
- (4)它是一种良好的信号比较器,可以显示和分析任意两个量之间的函数关系。
- (5)配用变换器可以观测各种非电量,并组成综合仪器,以扩展其功能。

二、电子示波器的种类

电子示波器种类、型号繁多,根据其用途和特点的不同,可分成以下几大类。

1. 通用示波器

采用示波器基本显示原理构成的示波器称为通用示波器,通用示波器可用于观察电压信号波形,对电压信号进行定性和定量分析。这种示波器一般也称为模拟示波器。

2. 多束、多踪示波器

多束示波器是采用多束示波管构成的,能同时观察、比较两个或两个以上的信号波形,这类示波器制造困难。多踪示波器仍采用单束示波管,它是通过轮流接入被测信号而能同时观测、比较两个或两个以上信号波形的。

3. 取样示波器

通过采用取样技术,将高频信号转换成模拟的低频信号,再应用通用示波器的基本

显示原理观测信号的波形。取样示波器一般用于观测频率高、速度快的脉冲信号的波形。

取样示波器其工作频率可高达 1000MHz 以上(即 1GHz 以上, $1\text{GHz}=10^3\text{MHz}$, 电视机第 68 频道接收的射频信号才 958MHz, 不到 1GHz)。我国卫星电视用的射频高达 12GHz, 混频后的中频也高达 1.3GHz。要显示这类信号的波形, 就必须用取样示波器(如 SQ-21 型取样示波器, 工作频率高达 7GHz)。

4. 数字存储示波器

能把所测量到的波形以数字的形式存储起来, 并能再次显示出来的示波器, 叫做数字存储示波器, 存储示波器能将单次瞬变过程、非周期信号、低重复频率的信号长时间地保留在屏幕或存储器中, 以供分析、比较、研究之用。

5. 特种示波器

这类示波器是为满足特殊任务用的专用示波器, 如矢量示波器、电视示波器等。

第二节 通用(模拟)单踪示波器介绍

一、单踪示波器基本组成

单踪通用示波器一般由示波管、Y 轴放大器、X 轴放大器、扫描发生器、电源和测试探头等几大部分组成, 如图 3-1 所示。

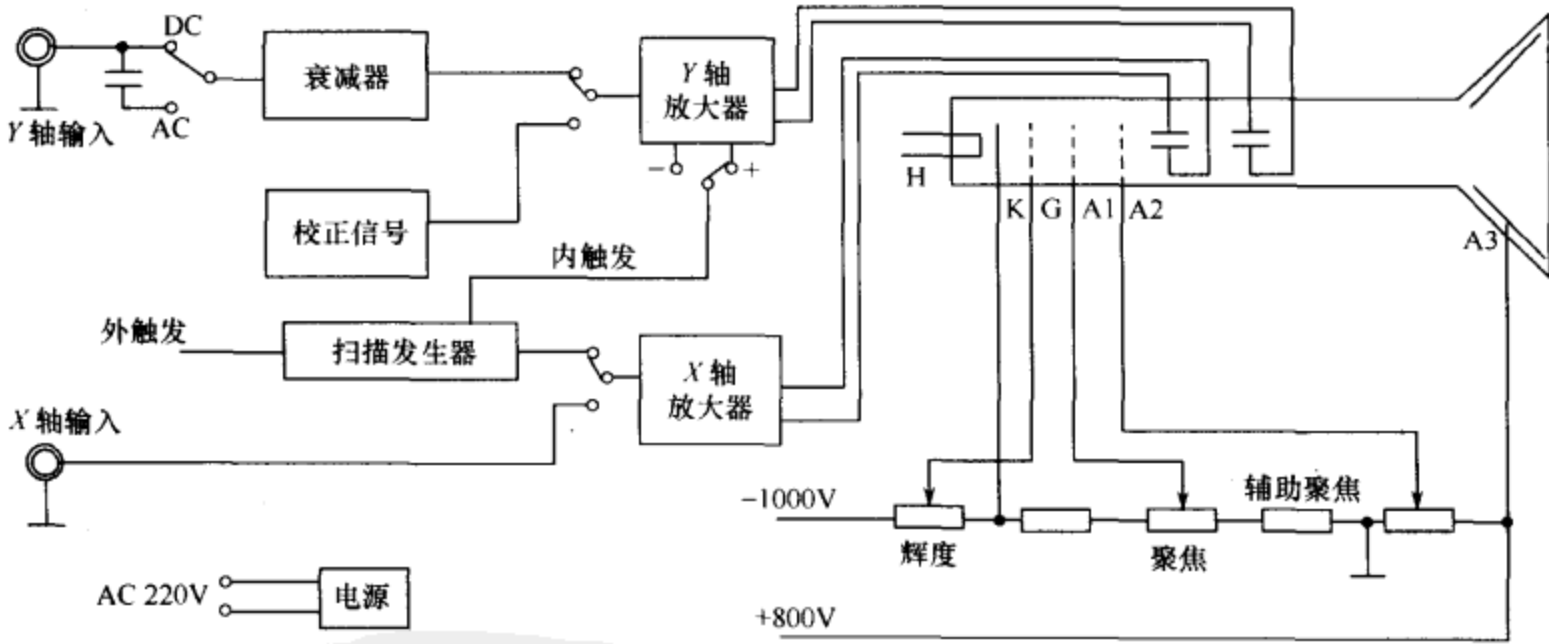


图 3-1 单踪示波器的基本组成

1. 阴极射线示波管

示波器的心脏部分是阴极射线示波管(CRT), 它是一种屏幕式显示器, 能将被测信号转换为光信号, 用荧光屏来显示被测信号的图形。示波管是示波器用来显示测量结果的指示器, 其内部结构包括电子枪, X、Y 轴偏转板和荧光屏 3 大部分, 如图 3-2 所示。

重点提示 示波器和电视机的显像管有较大的区别。示波器是电偏转管, 即阴极发射的电子是依靠电场进行偏转的; 而电视机中的显像管则是磁偏转管, 即阴极发射的电子依靠磁场(由套在管颈上的偏转线圈提供)进行偏转的。

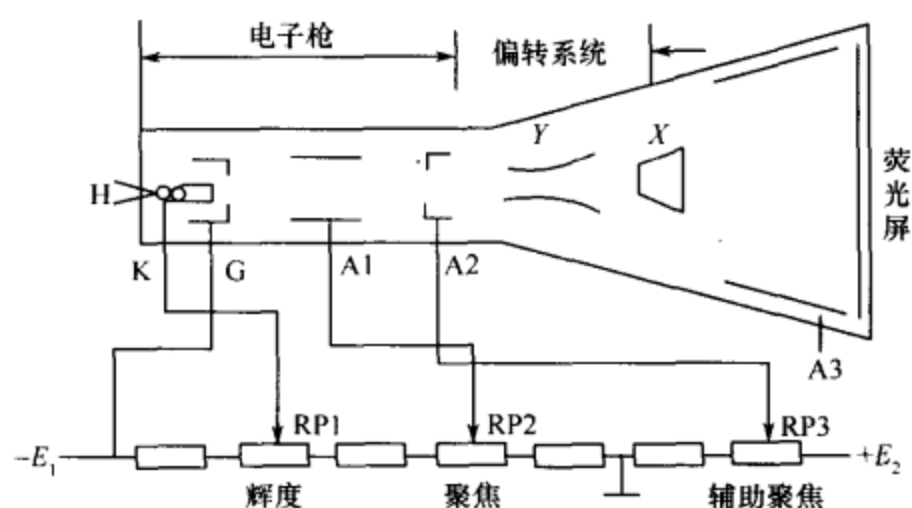


图 3-2 示波管的内部结构

(1)电子枪。电子枪包括灯丝 H、阴极 K、控制栅极 G、第一阳极 A1 和第二阳极 A2，为了增加电子束的能量，常在荧光屏附近增加一个石墨涂层作为第三阳极 A3，加上一定正电压，可使电子束进一步加速获得足够的能量，以提高光点亮度。

阴极被灯丝加热后发射电子，这些电子受到第一阳极上正电压的吸引，穿过控制栅极中心的小孔，形成细的电子束。调节栅极电压就能控制阴极发射电子束的强弱，使荧光屏上光点的亮度改变，这个调节过程叫“辉度”调节。利用第一阳极、第二阳极之间的相对电位形成的电场，能使电子束聚成细束，也就是使光点的直径变小，使波形清晰可辨，这个调节过程是通过示波器面板上的“聚焦”旋钮来进行的。

(2)X、Y 轴偏转板。示波器的偏转系统通常采用静电偏转系统。在示波管内安装了两对相互垂直的平行金属板，称垂直(Y 轴)偏转板和水平(X 轴)偏转板。当垂直、水平偏转板上都没有加偏转电压时，电子束直射到荧光屏中央，在屏中心出现一个光点。如果只在水平偏转板上加直流电压，电子束通过偏转板间的电场时，受电场力的作用而发生偏转，使光点向左或向右偏移。同理，若只在垂直偏转板上加直流电压，光点就向上或向下偏移。光点偏移的距离与所加电压成正比，而偏转的方向取决于偏转板上所加电压的极性。因此，调节两偏转板上的电压，就能调节荧光屏上光点的位置，这就是示波器上的“X 轴位置”和“Y 轴位置”的调节作用。

(3)荧光屏。示波管屏面玻璃内壁涂有一层荧光粉而成为荧光屏，当电子束射到荧光屏时能产生光点。光点发光后，如无电子连续轰击，该点尚能延续发光一段时间，这种现象称为示波管的发光延续性，又称余辉，示波管按余辉长短可分为 3 类：短余辉管延续发光时间 $1\mu\text{s}\sim 1\text{ms}$ ；中余辉管 $1.2\text{ms}\sim 1.2\text{min}$ ；长余辉管 1.2min 以上。通用示波器一般采用短余辉管或中余辉管，慢扫描示波器则采用长余辉管。

2. X、Y 轴放大器和扫描发生器

Y 轴通道放大器把被测信号电压放大到足够的幅度，然后加在示波器的垂直偏转板上。Y 轴通道还带有衰减器用以调节垂直幅度，确保显示波形的垂直幅度适当以进行定量测量。

X 轴通道由扫描发生器和 X 轴放大器组成。扫描发生器产生一个与时间成线性关系的锯齿波电压(又称扫描电压)，时基发生器配合扫速调节可产生不同扫速的锯齿波，经过 X 通道放大以后，再加在示波器水平偏转板上。

重点提示 对于示波器来说,显示稳定的波形十分重要,实践证明,只要扫描发生器产生的锯齿波电压的周期与被测信号的周期相同或保持整数倍关系,波形就会保持稳定。

锯齿波电压的周期和被测信号电压的周期相同或成整数倍关系,在这里就叫同步,波形稳定就是两个信号“同步”的表现。再具体说,同步就是锯齿电压加在水平偏转板上后的起始水平扫描和被测信号电压加在垂直偏转板上后的起始垂直扫描在同一时刻进行。

示波器中的触发电路就是为实现同步而设立的,因此,触发电路也就是同步电路。就是说,水平扫描发生器是受触发信号控制的。没有触发信号时,没有锯齿波电压产生,水平扫描电路处于等待状态;有触发信号时,扫描发生器开始工作,产生的锯齿波电压就与被测信号电压有着严格的同步关系了。若触发信号来自 Y 轴被测信号,则称内触发(同步);若用外接信号作为触发信号,则称外触发(同步)。

3. 电源电器

电源部分向示波管和其他功能单元电路提供所需的各组高、低压电源,以保证示波器各部分的正常工作。

4. 示波器探头

示波器探头是把被测电路的信号耦合到示波器内部前置放大器的连接器件,根据测量电压范围和测试内容的不同,有 1:1、10:1 和 100:1 等规格的探头。一般测量时用 1:1 或 10:1 探头即可,测彩显行输出管集电极的脉冲波形时,因该处电压峰值高达 1000V(峰峰值),因而要选用 100:1 的探头,这种探头最高测试电压为 2000V(峰峰值)。

二、波形显示原理

在示波管的垂直偏转板上加一个周期性连续变化的交流电压后,由于电子束在这个偏转电场的作用下进行垂直扫描(电子束在垂直方向上做周期性运动就叫垂直扫描),便在荧光屏上出现一条垂直亮线,如图 3-3 所示。

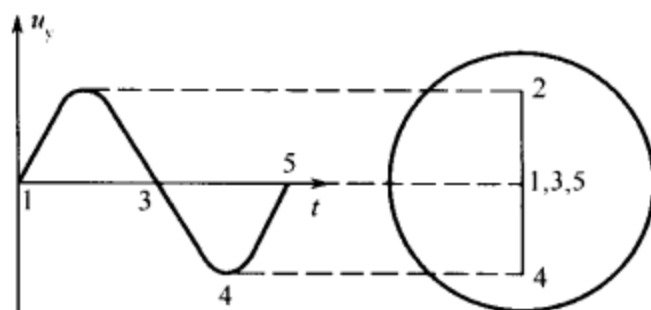


图 3-3 荧光屏上出现一条垂直亮线

若要想把这条垂直亮线展开,让屏幕上也呈显出像加在垂直偏转板上的交流电压那样的正弦波,就需要在水平偏转板上加一个模拟时间的电压。由于时间是连续均匀变化的,所以加到水平偏转板上的电压应是随时间均匀增加的线性电压,即锯齿波电压。这个锯齿波电压加在水平偏转板上后,电子束在水平偏转电场的作用下进行水平扫描(电子束在水平方向上做周期性运动就叫水平扫描),在屏幕上形成一条扫描基线(水平线),如图 3-4 所示。

在产生了这条扫描基线的基础上,再在垂直偏转板上加上那个正弦波电压,屏幕上就把这个正弦波显示出来了,如图 3-5 所示。

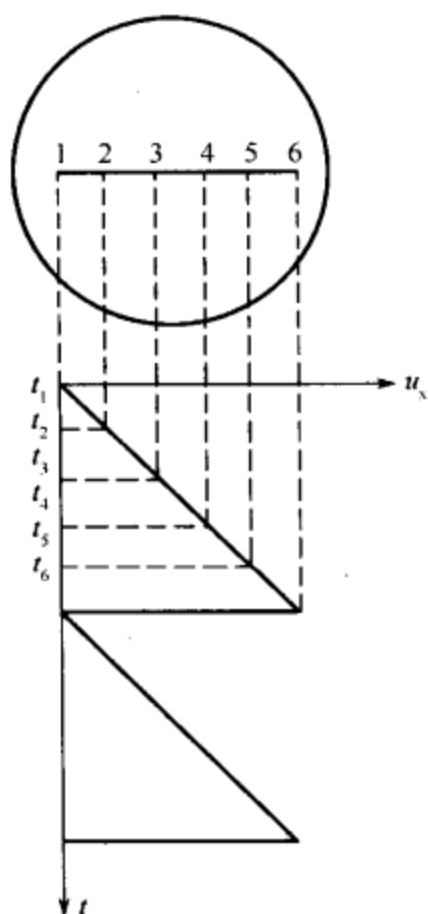


图 3-4 水平扫描基线的形成

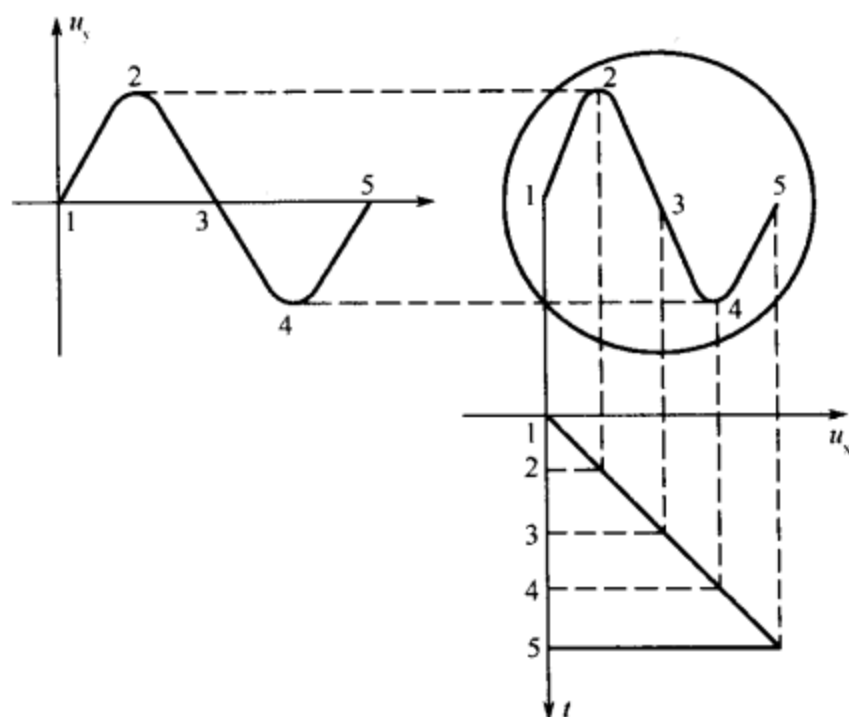


图 3-5 荧光屏上出现正弦波形

所以,用示波管显示波形,在垂直偏转板上加的是被测信号,而在水平偏转板上加的是为了产生水平扫描基线的锯齿波电压。在水平偏转板上加锯齿波电压,产生扫描基线是为产生被测信号波形服务的。

重点提示 当被观察信号的频率 u_y 与扫描电压频率 u_x 相等时,在荧光屏上显示出一个正弦波的图形。如果 $u_y = nu_x$, $n=2,3,\dots$ 时,则荧光屏上将出现 2 个,3 个,……波形。示波器面板上的“扫描范围(扫描速度)”和“扫描微调”就是扫描电压频率的调节旋钮。

三、X-Y 显示原理

在示波管中,电子束同时受 X 和 Y 两个偏转板的作用,而且两偏转板上的电压 u_x 和 u_y 的影响又是相互独立的,它们共同决定光点在荧光屏上的位置。利用这种特点可以把示波器变为一个 X-Y 图示仪,使示波器的功能得到扩展。

图 3-6 表示两个同频率信号 u_x 、 u_y 分别作用在 X、Y 偏转板上时的情况。

如果这两个信号初相相同,则可在荧光屏上画出一条直线。若 X、Y 方向的偏转距离相同,这条直线与水平轴呈 45° ,如图 3-6(a) 所示。如果这两个信号初相相差 90° ,则在荧光屏上画出一个正椭圆,若 X、Y 方向的偏转距离相同,则在屏上画出一个圆,如图 3-6(b) 所示。示波器两个偏转板上都加正弦电压时显示的图形叫李沙育图形,这种图形在相位和频率测量中常会用到。

X-Y 图示仪可以应用到很多领域。在它显示图形之前,首先要把两个变量转换成与之成比例的两个电压,分别加到 X、Y 偏转板上。荧光屏上任一瞬间光点的位置都是由偏转板上两个电压的瞬时值决定的。由于荧光屏有余辉时间和人眼有滞留效应,从屏上可以看到全部光点构成的曲线,它反映了两个变量之间的关系。

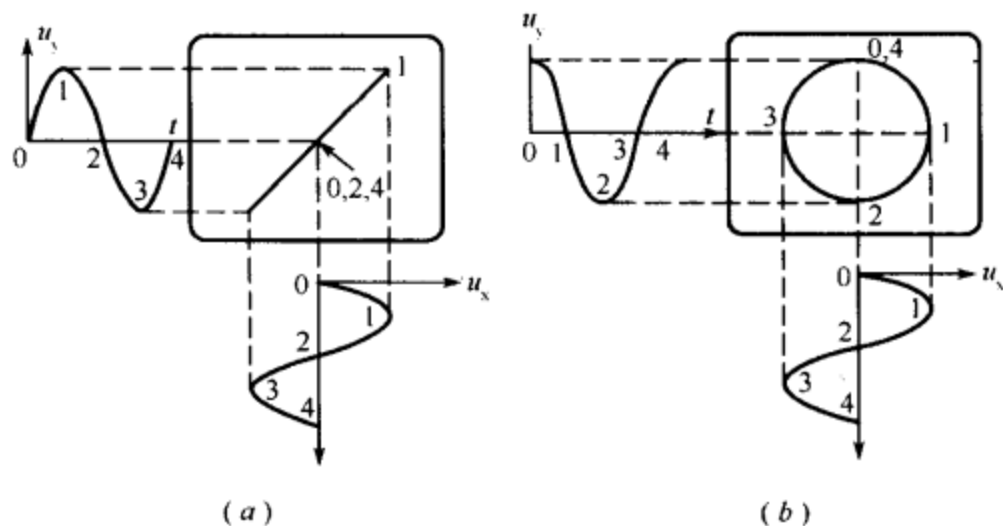


图 3-6 两个同频率信号构成的李沙育波形
(a) u_x 与 u_y 同相位；(b) u_y 起前 u_x 90°。

四、BS-7701 单踪示波器介绍

BS-7701 为单踪 7M 示波器,主要应用于家电维修领域,其面板如图 3-7 所示。该示波器采用矩形内刻度显示屏示波管,工作面垂直刻度为 8 格,水平刻度为 10 格。控制旋钮分布分为示波管系统、Y 轴系统和 X 轴系统。

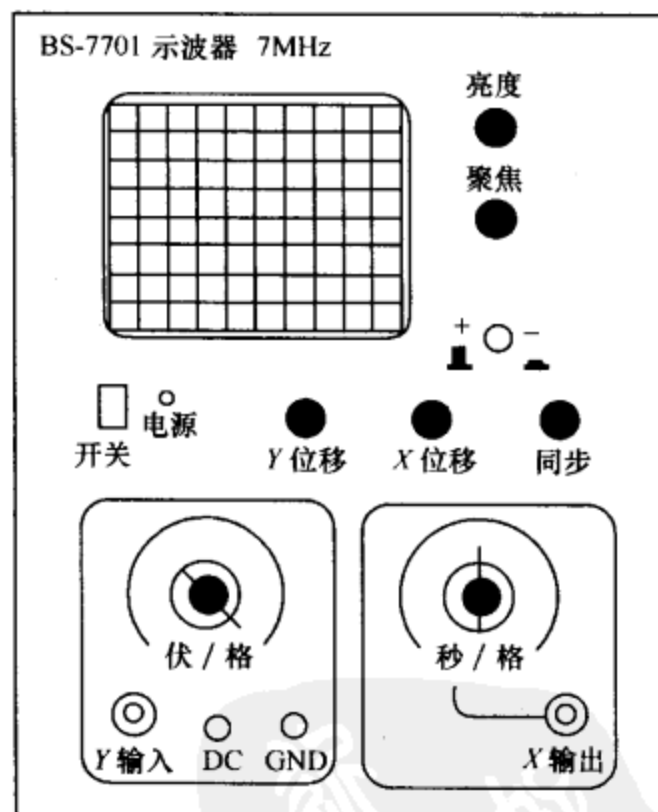


图 3-7 BS-7701 型多功能晶体管示波器面板

1. 示波管系统

- (1)电源。它是电源开关,将该开关打开时,电源接通,指示灯亮,示波器进入工作状态。
- (2)聚焦。它是聚焦旋钮,通过调节该旋钮可使光点聚焦成为一小圆点,在每次改变辉度后,需重新调整聚焦。

(3)亮度。亮度(辉度)旋钮,用以控制光迹亮度,顺时针旋转时增加亮度,反之则减弱亮度。光点在某一位置停留时间较长时,亮度不宜过高,以免损坏这一部分的荧光材料。

2. Y 轴系统

(1)Y 位移。它是垂直位移旋钮,用以移动光迹在垂直方向上的位置,顺时针旋转光迹位置向上移动,反之则向下移动。

(2)垂直通道(Y)轴衰减开关。它是垂直幅度衰减开关,其中 8 个挡位挡为 $10\text{mV/格} \sim 30\text{V/格}$,用以衰减 Y 轴输入信号,若不知信号幅度大小,应尽量先放在大挡,然后逐渐减小挡位至屏幕显示合适的幅度,一般调节幅度使波形在垂直方向占 4 格 \sim 5 格为宜。第 9 挡是内部校正信号接入开关,当开关置于该挡时,示波器内部产生的幅度为 40mV ,频率为 10kHz (周期为 $100\mu\text{s}$)的方波自动接入,该信号用以校准示波器的 Y 轴放大器及 X 轴放大器的增益。

(3)AC-DC 选择按钮。它是 Y 轴输入的耦合开关,置“DC”时,被测信号直接输入 Y 轴放大器,被测信号的交流分量和直流分量均输入 Y 通道,适合观察变化缓慢的信号或测量直流电平;当观察具有较高直流电平的小信号时,应置于“AC”位置,被测信号经隔直电容输入 Y 通道,信号波形的垂直位置不受直流成分的影响。

(4)Y 输入插座。被测信号由该插座输入到 Y 轴放大器。

(5)GND 按钮。接地按钮,按钮抬起时,Y 轴放大器正常工作;按下时,Y 轴放大器输入接地,便于寻找扫描基线。

3. X 轴系统

(1)X 位移。它是水平位移旋钮。用以移动光迹在水平方向的位置,顺时针方向旋转时,光迹向右移动,反之向左移动。

(2)扫描速度开关。扫描速度自 $10\text{ms/格} \sim 0.3\mu\text{s/格}$ 共 10 挡,根据被测信号频率的高低选择适当的扫描速度,当不知道被测信号频率时,可先置扫描速度较慢的挡,调同步旋钮使屏幕显示稳定波形;若显示的波形过密再增加扫描速度。

(3)同步。它是同步调节旋钮,调节该旋钮可使扫描周期和被测信号周期保持在整数倍,使屏幕上显示稳定的波形,在同步旋钮调节范围内一般有几个同步点。

(4)+、-、外。它是控制内同步信号的正、负极性和 X 轴外接输入信号的转换开关。当被测信号为正极性脉冲时,应置于“+”位置;当被测信号为负极性脉冲时,应置于“-”位置;当 X 轴需要外接输入信号时,应置于外位置。

(5)X 输入。被测信号由该插座输入到 X 轴放大器。

第三节 通用(模拟)双踪示波器介绍

双踪示波器能同时观测两个信号波形。它与单踪示波器在构造上的主要区别就是在 Y 轴偏转系统中的前面加了一个电子开关。这个电子开关可以将两个被测信号以很高的速度轮流输送到 Y 轴偏转板而显示两个波形。

一、基本结构

双踪示波器的基本结构如图 3-8 所示。

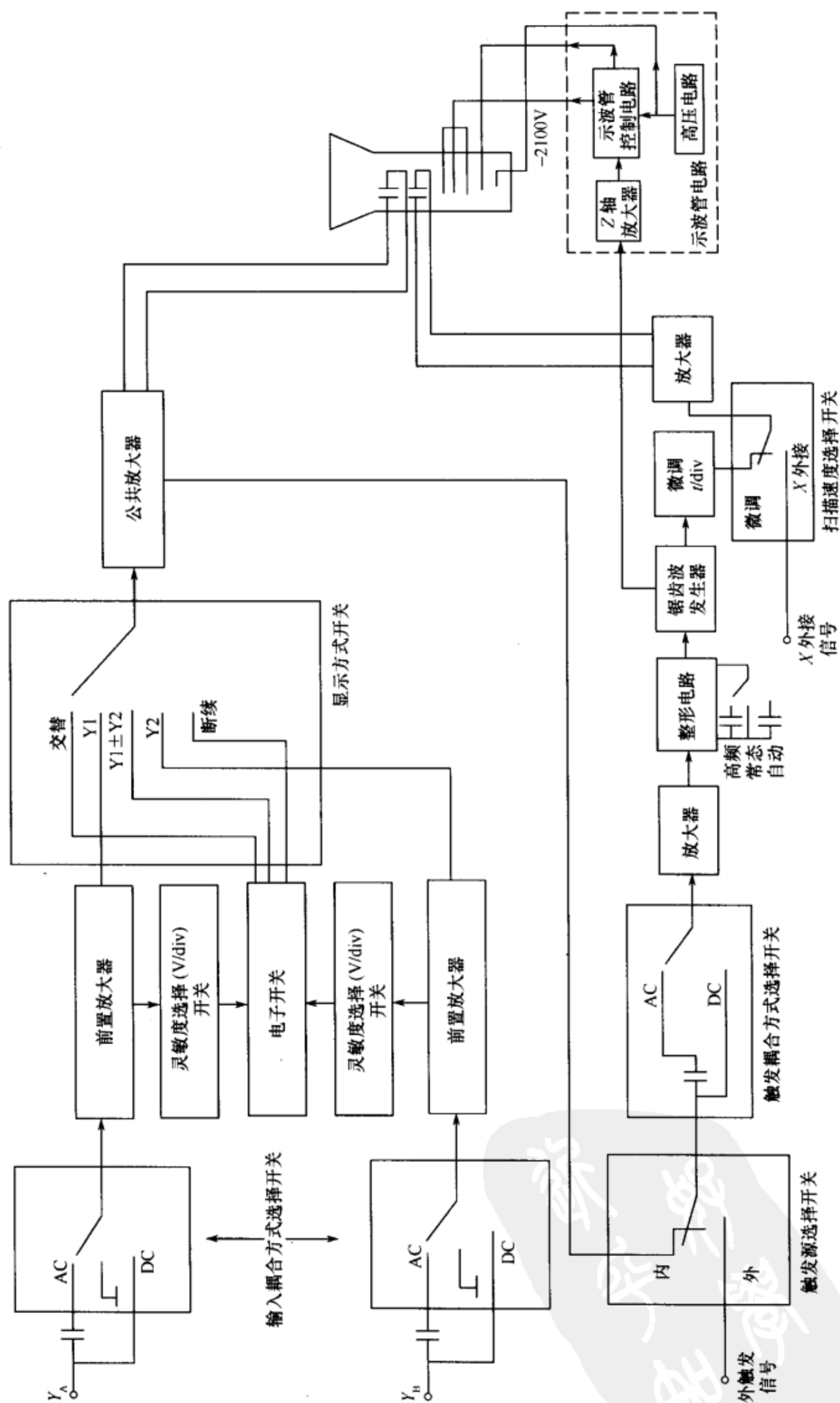


图 3-8 双踪示波器的基本结构

1. Y 轴偏转系统

Y 轴偏转系统有两个独立的前置放大器,分别称通道 Y1 或(CH1)和通道 Y2 (CH2)。主要电路有输入耦合开关、前置放大器、灵敏度选择开关、电子开关和公共放大器等。在电子开关处设有 5 个挡级的转换开关(也叫显示方式开关)。这 5 个挡级分别为:交替、Y1、Y1±Y2、Y2 和断续,这表明双踪示波器有 5 种显示方式。

2. X 轴偏转系统

X 轴偏转系统好像很复杂,其实锯齿波发生器(扫描发生器)前面那些都属于触发电路。该图对触发电路作了简化,重在示意,便于与实际双踪示波器面板上的旋钮对照。像“触发源选择开关”(内、外)、“触发耦合方式选择开关”(AC、DC)、“触发方式开关”(高频、常态、自动)、“扫描速度选择开关”(微调、t/div),这些部分都是实物面板上的主要旋钮,认真掌握一下这个简图,对于实际使用双踪示波器是很有必要的,这样在操作各个旋钮时就不盲目了。

二、双踪示波器的工作方式

双踪示波器主要有 5 种工作方式,即 Y1、Y2、Y1±Y2、交替和断续。前 3 种均为单踪显示,Y1、Y2 与普通单踪示波器显示原理相同,只显示一个信号;Y1±Y2 显示的波形为两个信号的“和”或“差”;交替和断续为双踪显示,下面简要介绍这两种方式。

1. 交替显示

交替显示时,电子开关控制 Y1 通道和 Y2 通道轮流工作。例如,电子开关首先接通 Y1 通道,进行第一次扫描,显示由 Y1 通道输入的被测信号波形;然后电子开关接通 Y2 通道,进行第二次扫描,显示由 Y2 通道输入的被测信号波形;接着再接通 Y1 通道……这样轮流地对 Y1 通道和 Y2 通道输入信号进行扫描,两信号按扫描周期交替地显示在荧光屏上。由于两个波形轮流显示时交替的速度很快,只要交替频率大于 25Hz(荧光屏又有一定的余辉时间,人眼有视觉滞留效应),就可得到两个波形同时显示的效果。利用交替方式显示两个信号的时间差或相位差时,要注意选择相位超前的信号作固定的内触发源,或采用外触发方式。交替显示方式只适合于显示频率较高的被测信号,因为扫描频率过低时会产生明显的闪烁。

2. 断续显示

断续显示方式就是将一次扫描分成许多相等的时间间隔,在第一个时间间隔内显示 Y1 中信号波形的某一段,形成 Y1 波形的第一个光点;在第二个时间间隔内显示 Y2 波形的某一段,形成 Y2 波形的第一个光点;以后每个时间间隔轮流地显示 Y1 波形、Y2 波形的其余段(光点)。经过若干次断续转换,荧光屏上便显示出两个由光点组成的完整波形。

由于转换频率很高(此时电子开关并不受锯齿波电压控制),所以光点靠得很近,其间隙用肉眼几乎分辨不出,因而同样可以达到清晰地显示两个波形的目的。这种方式适于观测频率较低的信号波形。

三、Z 轴电路

为了保证在荧光屏上能显示出清晰明亮的被测信号波形,示波管还设有 Z 轴电路。它用于在扫描回程开始到触发脉冲到来并启动扫描之前,使电子束截止,而在正程期间让

电子束通过。如果需外加信号来对显示图形进行调亮,也可在 Z 轴电路进行。其原理是在扫描正程期间,由扫描闸门开关电路提供一个与扫描正程等宽的方波脉冲信号,经 Z 轴电路放大后以正极性加至示波管栅极,用以提高栅极电压,增大电子束,增强被显示信号的辉度,这称为增辉。它可以保证快速扫描时波形显示良好。此外,在双踪示波器中,要对波形变换过程的光迹进行消隐处理。在交替扫描状态,消隐信号由扫描电路产生的逆程脉冲来担任,在断续扫描状态则由 Y 轴垂直开关电路来提供消隐信号。消隐信号经 Z 轴电路放大后也加至示波管栅极,但它是负极性的,以使电子束截止。

实际电路中,增辉和消隐信号及人工增辉控制信号混合在一起,统称为增辉信号,经 Z 轴电路放大后再加至栅极电路,对示波管的辉度进行控制。

四、典型双踪示波器介绍

下面介绍两种典型的双踪示波器:一种是国产的 DC4322 通用 20M 双踪示波器;另一种是日本生产的岩崎 7802 通用 20M 双踪示波器,该示波器功能全面,但价格相对较高。

1. DC4322 通用 20M 双踪示波器

DC4322 通用 20M 双踪示波器前板和后板开关、旋钮位置如图 3-9 所示。

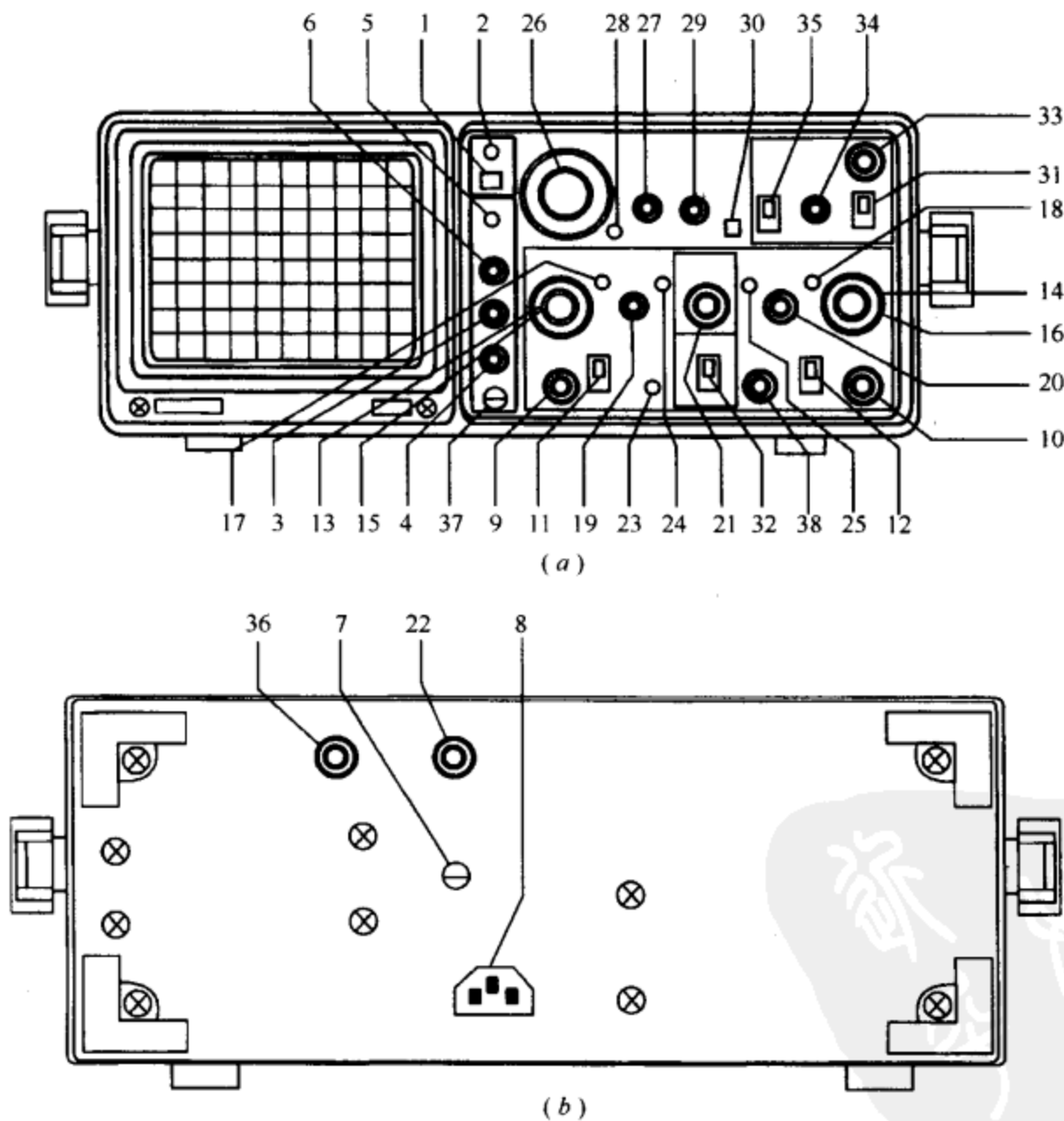


图 3-9 DC4322 通用 20M 双踪示波器前板和后板开关、旋钮位置
(a)示波器前板图;(b)示波器后板图。

示波器面板上主要有以下开关和按钮,说明如下。

(1)电源开关(POWER)。

(2)电源指示灯。

(3)聚焦控制旋钮(FOCUS)。用于调节聚焦直至扫描线最细,虽然在调节亮度时聚焦能自动调整,但有时要用手动调节以便获得最佳效果。

(4)刻度照明控制(ILLUM)。

(5)基线旋转(TRACE ROTATION)。用于调节扫描线使其和水平刻度线平行,以克服外磁场变化带来的基线倾斜,用螺丝刀调节。

(6)辉度控制(INTENSITY)。顺时针旋转。辉度增加。

(7)保险丝盒(FUSE)。内装 1A 保险丝。

(8)电源插座(AC INLET)。

(9)通道 1 输入端(Y1 INPUT)被测信号由此输入 Y1 通道,当示波器工作在 X-Y 方式时,输入到此端的信号作为 X 轴信号。

(10)通道 2 输入端(Y2 INPUT)。被测信号由此输入 Y1 通道,当示波器工作在 X-Y 方式时,输入到此端的信号作为 Y 轴信号。

(11)、(12)输入耦合开关(AC-GND-DC)。用以选择被测信号输入至 Y 轴放大器输入端的耦合方式。

AC:当开关拨至此位置时,只耦合交流分量,隔离输入信号的直流分量,使屏幕上显示的信号波形不受直流电平的影响。

GND:当开关拨至此位置时,输入信号接地。

DC:当开关拨至此位置时,输入信号直接加到 Y 轴放大器输入端,其中既有直流成分,又有交流成分。

(13)、(14)伏/度选择开关(VOLTS/DIV)。用于选择垂直偏转因素。可以方便地观察垂直放大器上各种幅度范围的波形,当使 10:1 输入探头时,要将屏幕显示的幅度 $\times 10$ 。

(15)、(16)微调/扩展控制开关(VAR PULL $\times 5$ GAIN)。当此旋钮被拉出时,垂直系统的增益扩展 5 倍。

(17)、(18)不校准灯(UNCAL)。灯亮表示微调旋钮没有处在校准位置。

(19)位移/直流偏置(POSITION)(PULL DC OFFSET)。位移用于屏幕上 Y1 信号垂直方向上的位移,顺时针旋转扫描线上移。

(20)位移/拉一倒相(POSITION)(PULL INVERT)。位移用于调节屏幕上 Y2 信号垂直方向的移。拉出旋钮,输入到 Y2 的信号极性被倒相,当仪器处于 Y1+Y2 工作方式时,利用该功能可得到 Y3-Y2 的信号差。

(21)工作方式开关(MODE)。用于选择垂直偏转系统的工作方式。

Y1:只有加到 Y1 通道的信号能显示。

Y2:只有加到 Y2 通道的信号能显示。

交替(ALT):加到 Y1 和 Y2 通道的信号能交替显示在屏幕上,这个工作方式通常用于观察加在两个通道上信号频率较高的情况。

断续(CHOP):在这个工作方式时,加到 Y1 和 Y2 的信号受约 250kHz 自激振荡电子开关的控制,同时显示在屏幕上,这个方式用于观察两通道信号频率较低的情况。

相加(ADD):显示加到 Y1、Y2 信号的代数和。

(22)Y1 输出插口(Y1 OUTPUT)。输出 Y1 信号的取样信号。

(23)直流偏置电压输出插口(DC OFFSET VOLT OUT)。当仪器置于直流偏置方式时,在此插口配接数字万用表,可以直接读出被测量的电压值。

(24)、(25)直流平衡调节控制(DC BAL)。直流平衡调节控制,用于直流平衡调节。

(26)扫描时间选择开关(TIME/DIV)。用于选择扫描时间因素,从 $0.2\mu\text{s}\sim 0.2\text{s/div}$,共 19 挡。

(27)扫描微调(SWP VAR)。此开关在校准位置时,扫描因素从 TIME/DIV 读出,当此开关不在校准位置时,可连续微调扫描因素,反时针旋转到底时扫描因素扩大 2.5 倍以上。此开关平时应位于校正位置。

(28)扫描不校正灯(SWP UNCAL)。灯亮表示扫描因素不在校正位置。

(29)位移/扩展(POSITION/PULL $\times 10$ MAG)。未拉出时用于水平移动扫描线,拉出后将扫描扩展 10 倍。

(30)Y1 交替扩展(Y1 ALT MAG)。通道 1 的输入信号能以 $\times 1$ (常态)和 $\times 10$ (扩展)两种扫描方式上下交替显示。

(31)触发源选择开关(SOURCE)。用于选择扫描触发信号源。

内(INT):取加到 Y1 或 Y2 的信号作为触发源,平时应置于此位置。

电源(LINE):取交流电源信号作为触发源。

外(EXT):取加到外触发输入端的信号作为触发源,多用于特殊信号的触发。

(32)内触发选择开关(INT TRIG)。本开关是用于选择不同的内触发源。

Y1:取加到 Y1 的信号作为触发信号。

Y2:取加到 Y2 的信号作为触发信号。

组合方式(VERT MODE):用于同时观察两个波形,同步触发信号交替取自 Y1 和 Y2。

重点提示 两个波形的同步观察。当 Y1 和 Y2 通道和两个信号具有相同频率、整数倍频率或时间差时,内触发选择开关(第 32 开关)可以任意选 Y1 或 Y2 作为基准信号。当 Y1 和 Y2 通道的两个信号频率不同且不成整数倍时,内触发选择开关应置于组合方式,这样同步触发信号交替选择,使每个通道都能稳定触发。当微调旋钮(第 15 旋钮、第 16 旋钮)被拉出时(置扩展 $\times 5$ 方式),内触发不宜采用组合方式。

(33)外触发输入插座(TRIG IN)。用于外触发信号的输入。

(34)触发电平控制(LEVEL)。按进去为正极性触发(常用),拉出来为负极性触发。

(35)触发方式选择(TRIG MODE)。

自动(AUTO):本状态下,仪器在有触发信号时,同正常的触发扫描,波形可稳定显示,在无信号输入时,可显示扫描线。

常态(NORM):有触发信号时才产生扫描,在没有信号和非同步状态下,没有扫描线。当信号频率很低(25Hz 以下)影响同步时,宜采用本触发方式。

电视场(TV-V):用于观察电视信号中的全场信号波形。

电视行(TV-H):用于观察电视信号中的行信号波形。

电视场、电视行触发仅适用于负同步信号的电视信号。

(36)外增辉输入(EXT BLANKING)。辉度调节信号输入端,与机内直流耦合,加入

正信号时辉度降低,加入负信号时辉度增加,常态下,加入 5V(峰峰值)的信号就能产生明显的调节。

(37)校正方波输出(CAL 0.5V)。0.5V/1kHz 信号输出端。

(38)接地端(GND)。

2. 岩崎 7802 通用 20M 双踪示波器

岩崎 7802 通用 20M 双踪示波器是一个功能比较齐全的、适合于模拟信号测试的双踪示波器。该示波器具有多种触发方式和光标测量功能,能测量两光标之间的电压、时间间隔等。下面通过图解,详细介绍其面板功能及其使用方法。

(1) 打开“电源开关(POWER)”,被测正弦波信号接“通道 1(CH1)”和“通道 2(CH2)”。输入接口,此时屏幕上显示两路正弦波信号,如图 3-10 所示。

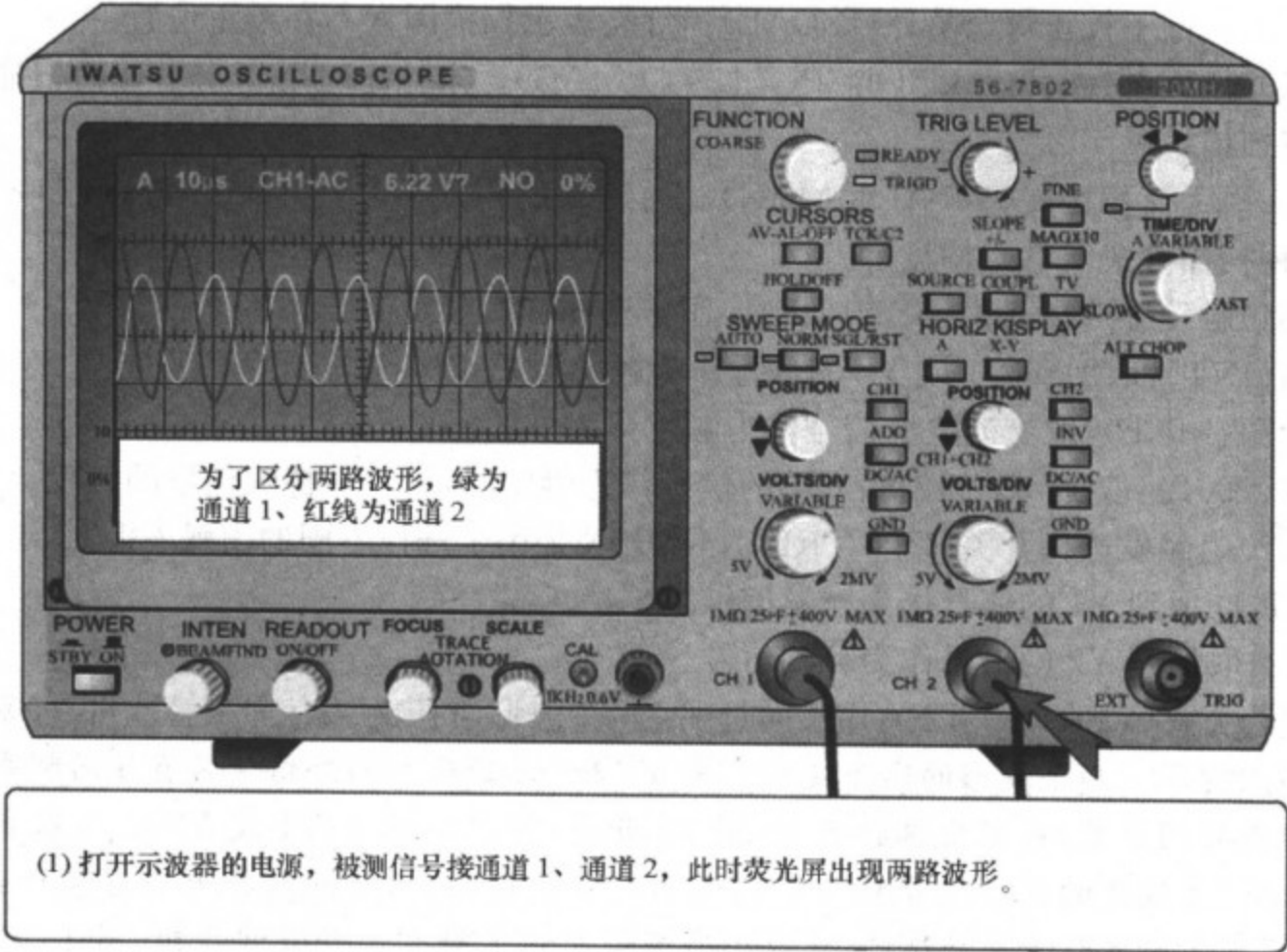


图 3-10 显示两路正弦波信号

(2) 调节“图像亮度(INTEN)”旋钮,使其亮度适当,否则,既损坏眼睛,又影响荧光屏的寿命,如图 3-11 所示。

(3) 调节“符号亮度(READOUT)”钮,旋转引键通使文字变化,按下按键是关闭符号,再按按键是恢复符号显示,如图 3-12 所示。

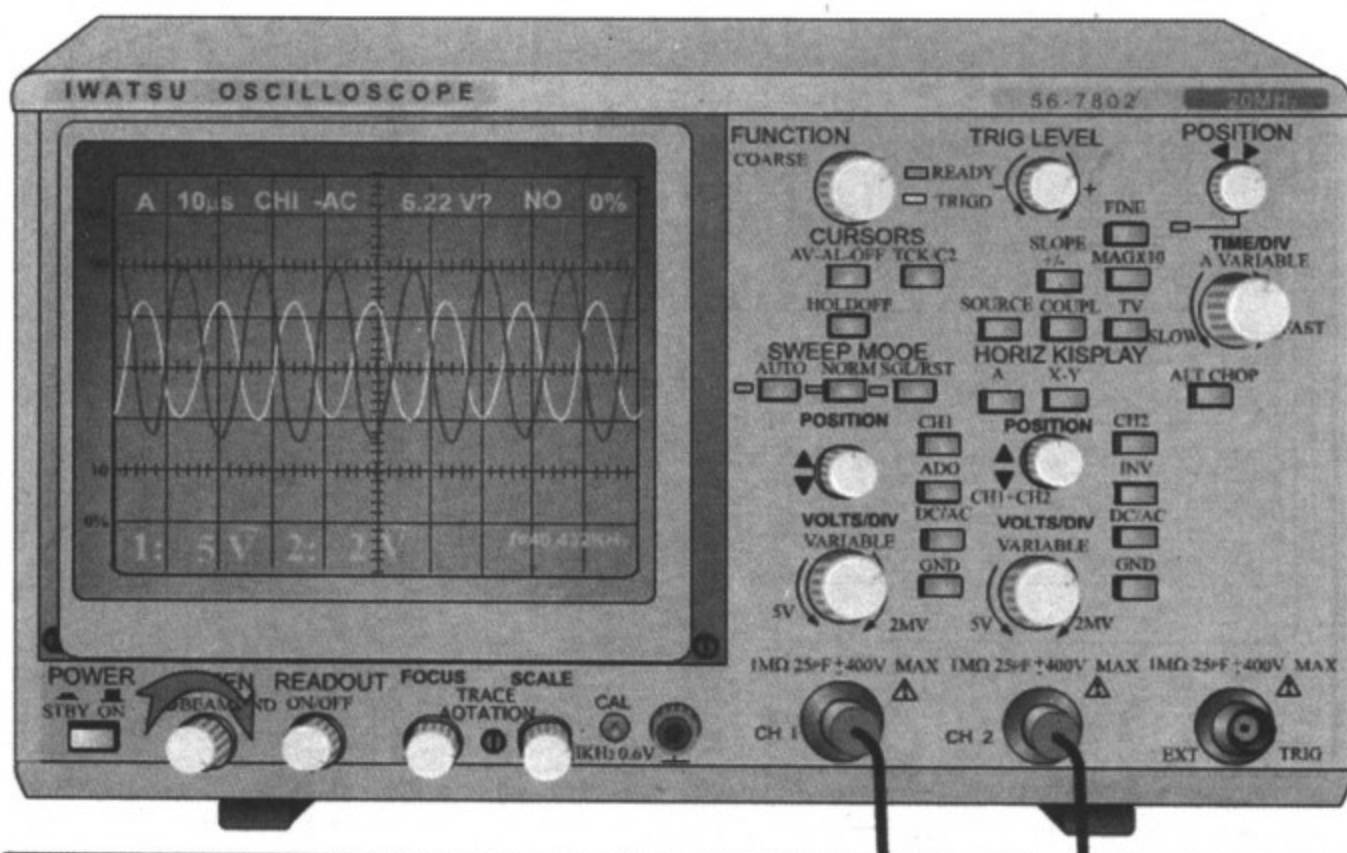
(4) 调节“聚焦(FOCUS)”钮,可调节图像的清晰度,如图 3-13 所示。

(5) 调节“标尺亮度(SCALE)”钮,一般调在关闭处(逆时针旋到底),如图 3-14 所示。

(6) 调节“垂直位移(PPOSITION)”旋钮,用于调节图像在垂直方向的位置,如图 3-15 所示。

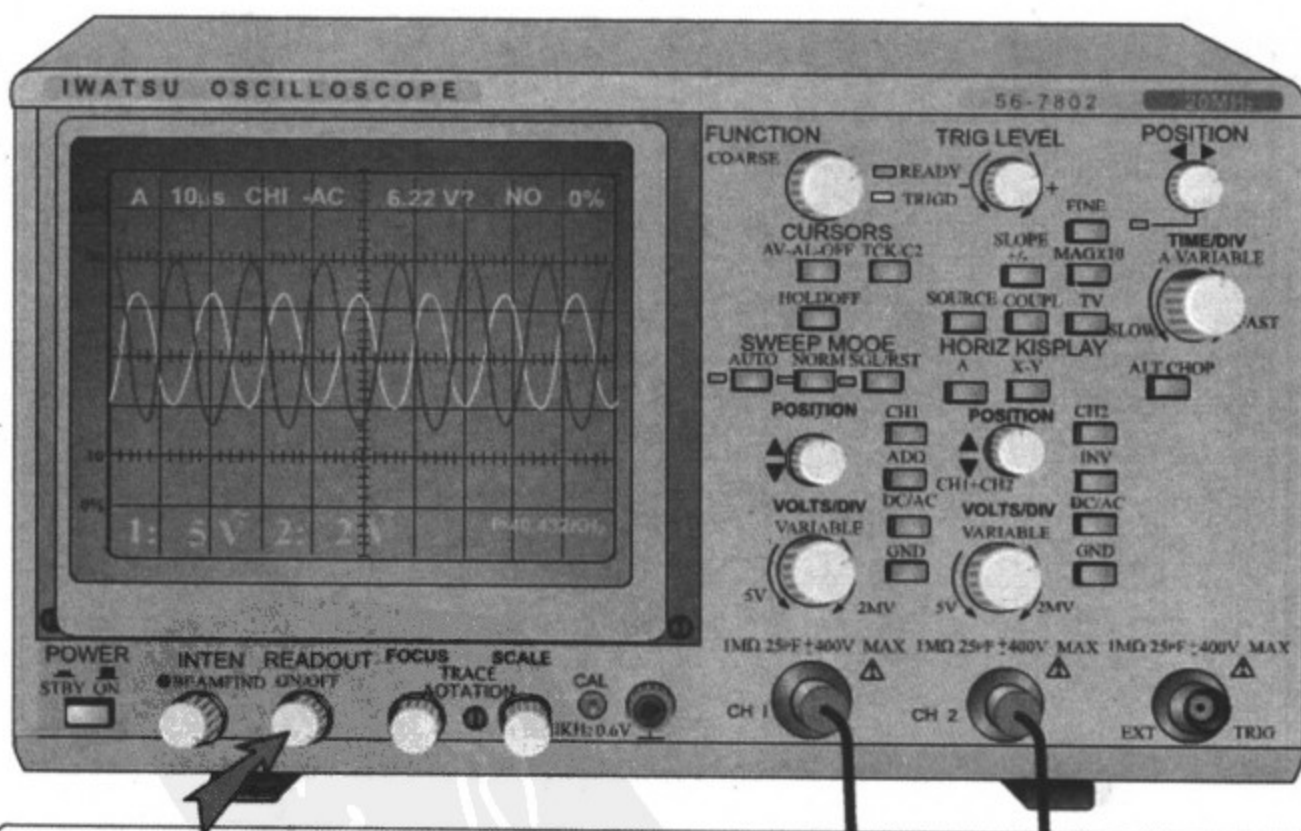
(7) “通道 1(CH1)”键,显示/关闭通道 1 的被测信号,按通道 1 键,关闭通道 1,再按此键,恢复显示通道 1 信号,如图 3-16 所示。

(8) “通道 2(CH2)”键,与“通道 1”键功能相同,注意不要同时关闭“通道 1”和“通道



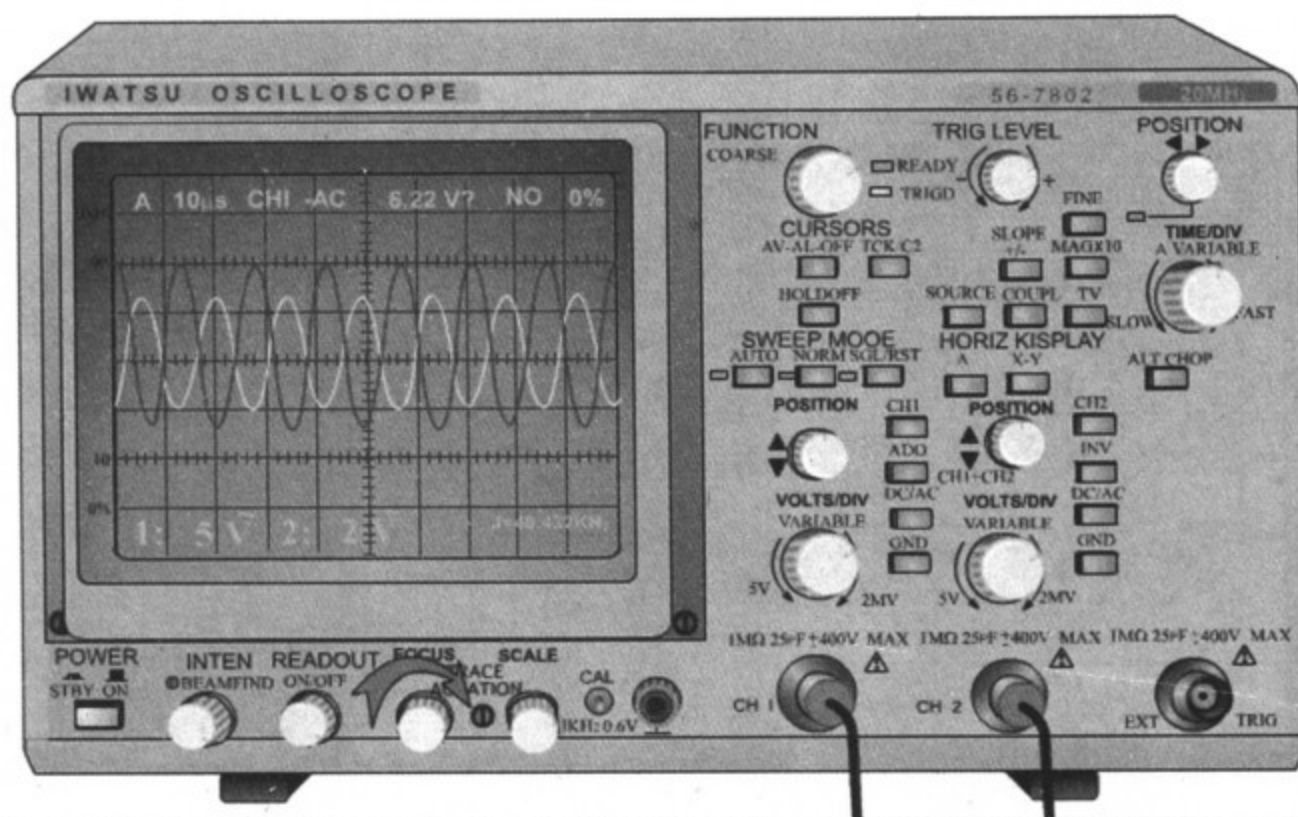
(2) 调节“图形亮度”钮，使其亮度适当，否则既损坏眼睛又影响荧光屏的使用寿命。
(按下此键为寻迹功能)

图 3-11 调节图像亮度旋钮



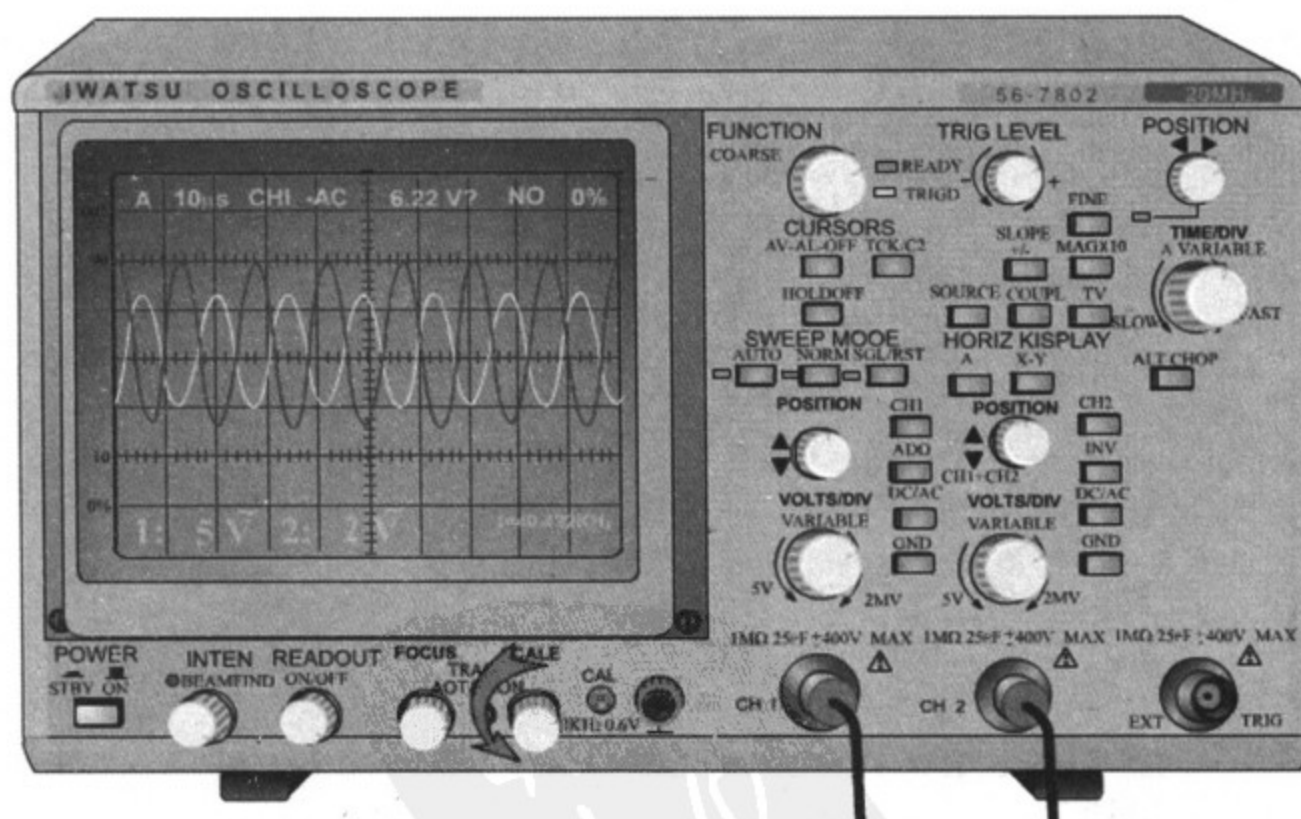
(3) 调节“符号亮度”钮，旋转此键能使文字变化、按下此键是“关闭”符号，再按此键恢复符号“显示”。(实验中注意观察上、下端文字符号)

图 3-12 调节符号亮度钮



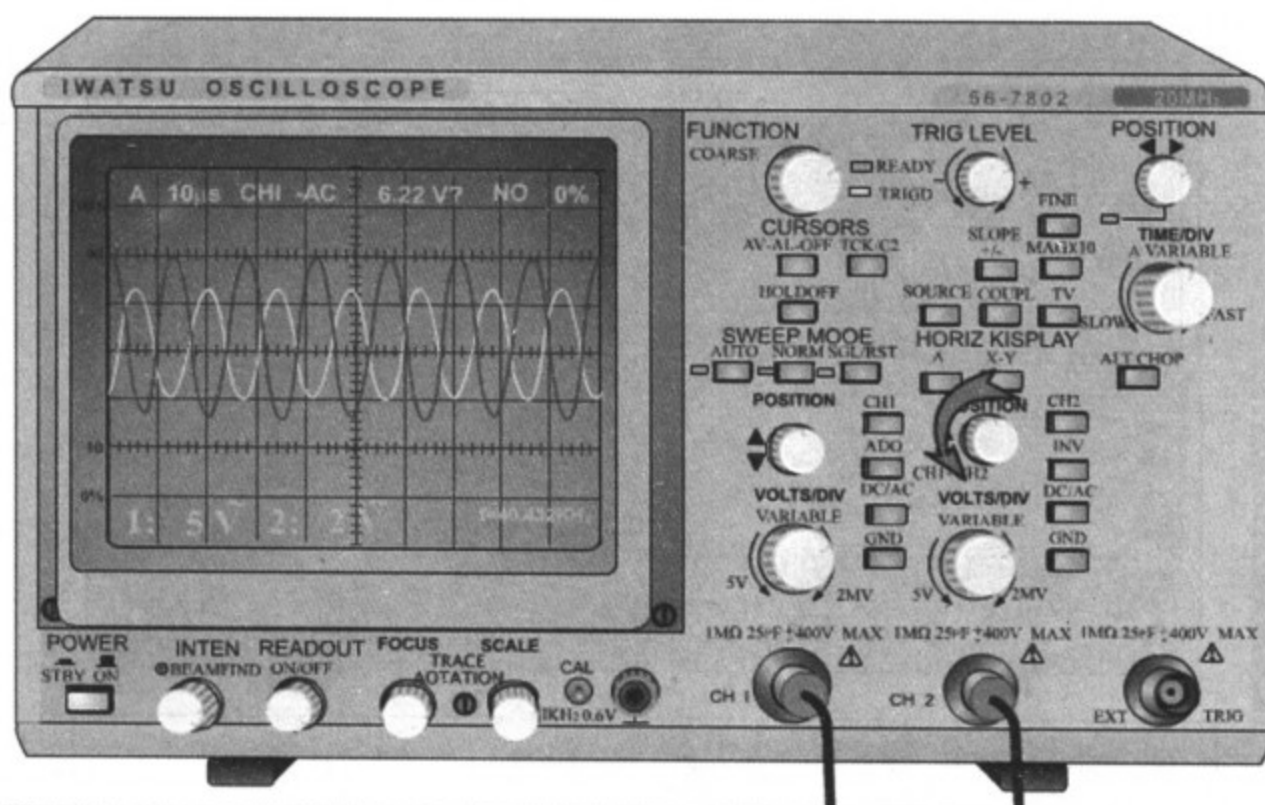
(4) “聚焦” 钮，调节图像的清晰度。

图 3-13 调节聚焦钮



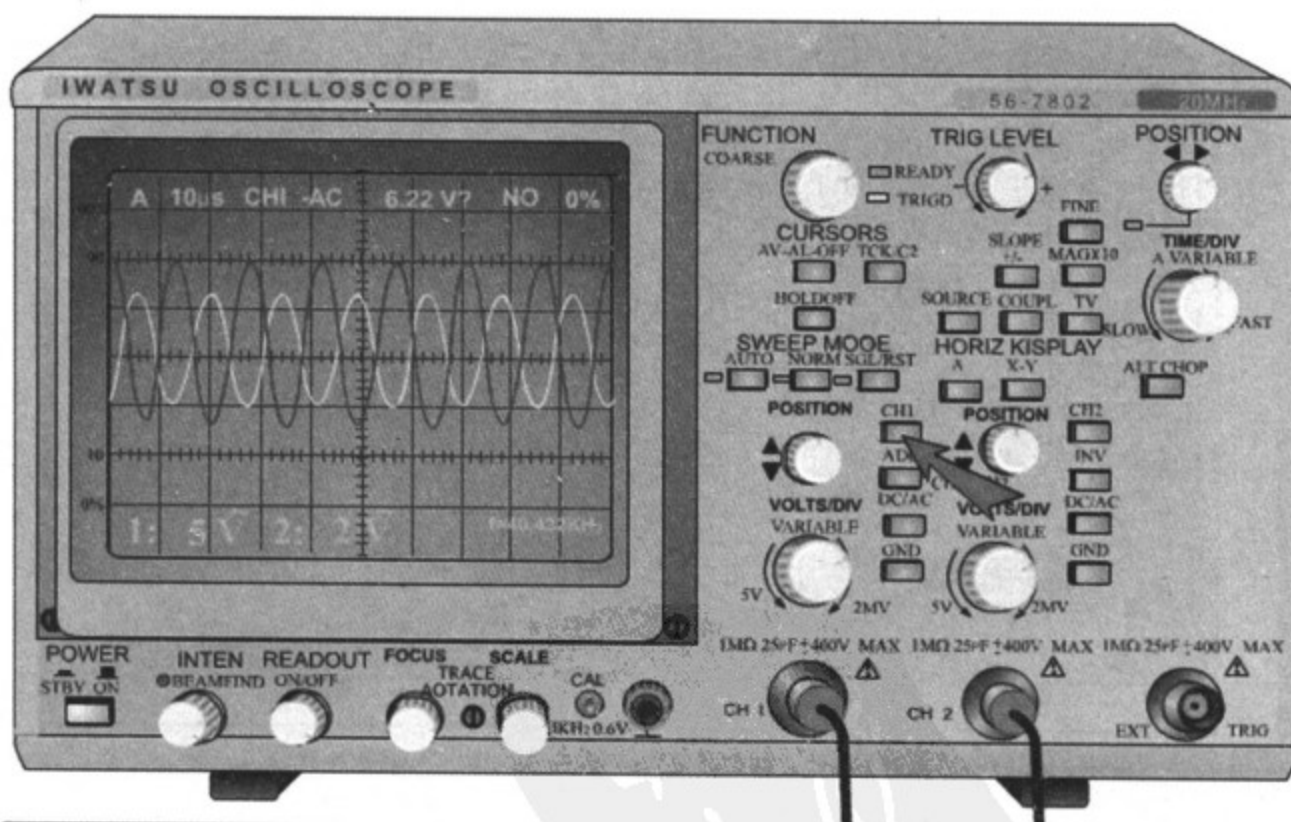
(5) “标尺亮度” 钮，一般调在关闭处。(逆时针旋到底)

图 3-14 调节标尺钮



(6) 示波器具有两路独立的 Y 轴通道，可同时显示两路被测信号。(荧光屏下端的文字符号表示 Y 轴各控制键的状态)
“垂直位移”调节图形在荧光屏上的上下位置。

图 3-15 调节垂直位移旋钮



(7) “通道 1”键的功能是“显示/关闭”通道 1 的被测信号。(按“通道 1”键，关闭通道 1，再按此钮，恢复通道 1 显示；注意观察荧光屏下端的文字显示)

图 3-16 通道 1 键

2”，若要同时关闭，则强行显示“通道 1”，如图 3-17 所示。

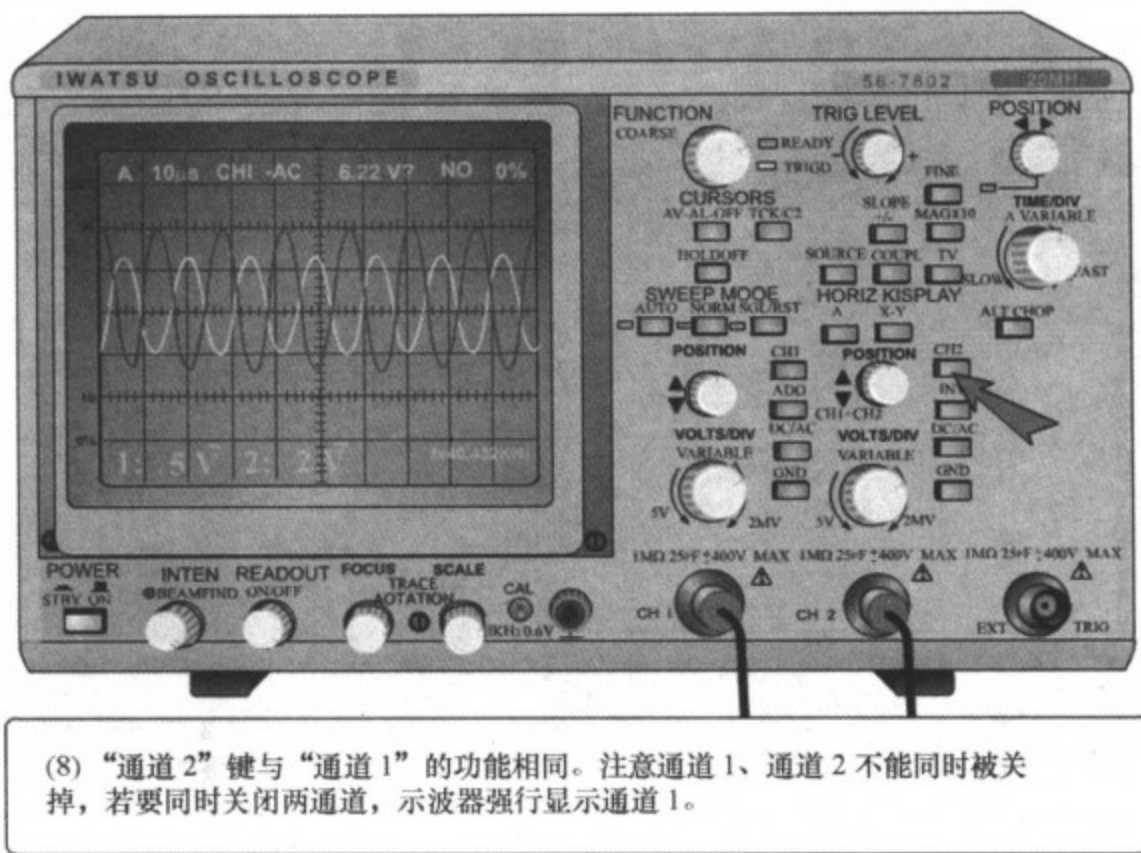


图 3-17 通道 2

(9)“通道 1”、“通道 2”的“接地(GND)”键,用于通道接地,并切断输入信号,此时图像为一条水平线,通常把这条线调到与 X 轴重合,作为零电平处,再按此键,地线符号消失,恢复图像显示,测量中不要按下此键,如图 3-18 所示。

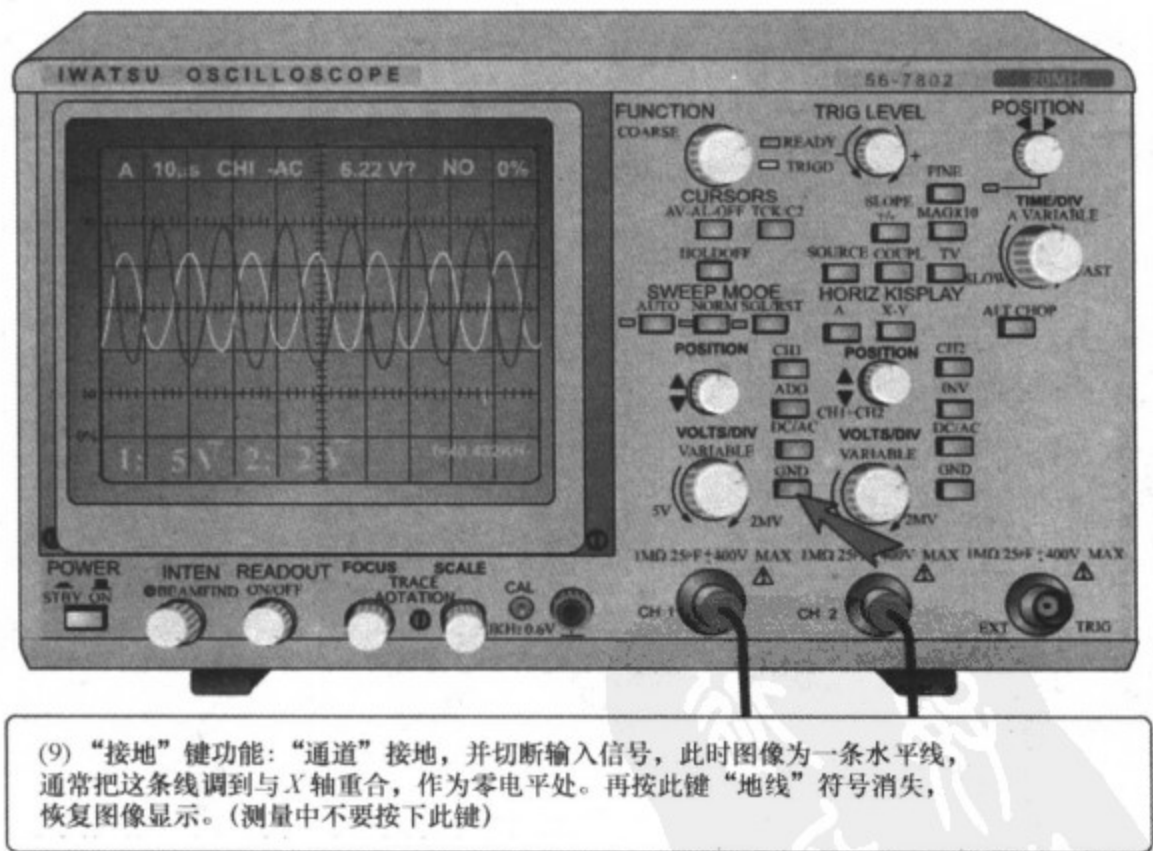
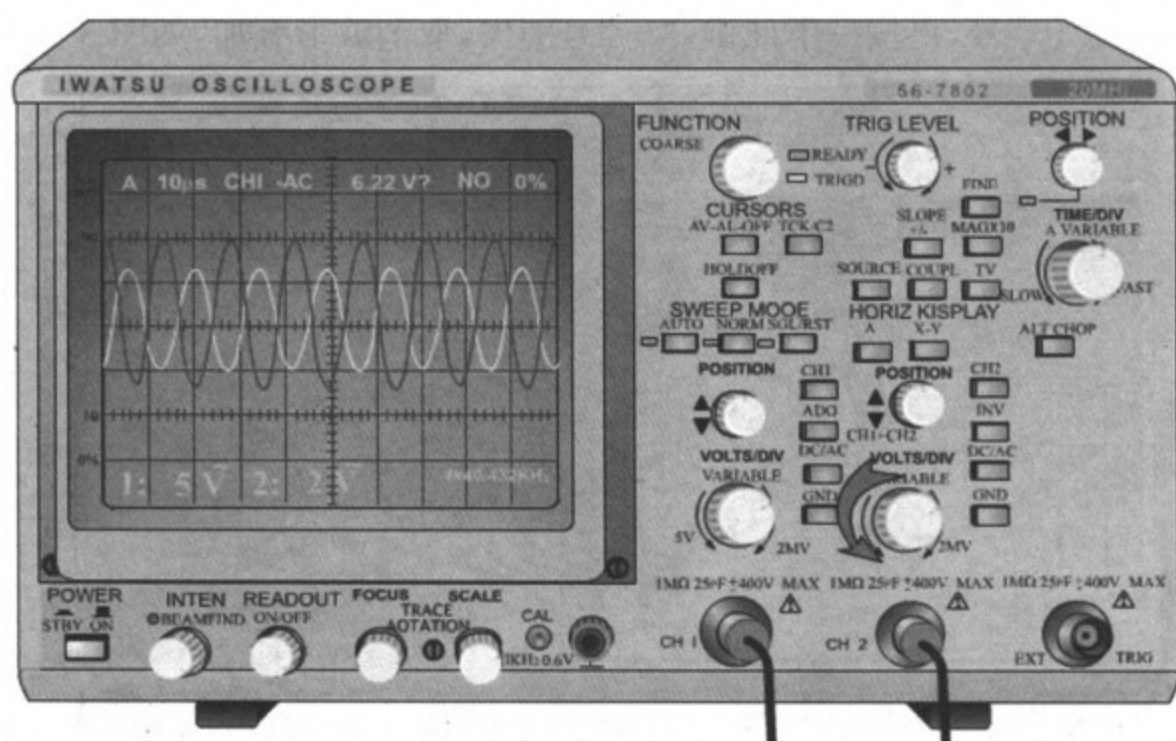


图 3-18 “通道 1”、“通道 2”的“接地”键

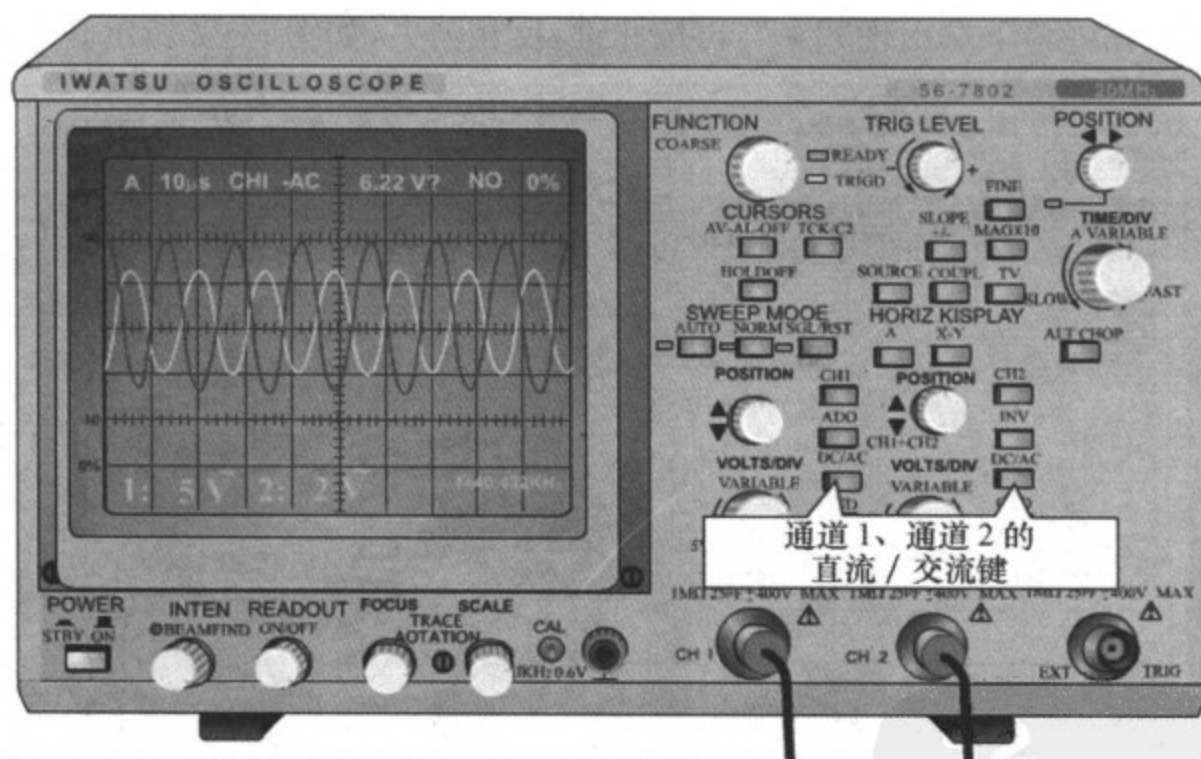
(10)“Y 轴灵敏度(VOLTS/DIV)”,用于改变 Y 轴的分格值(伏/格,V/div),在屏幕上显示合适的波形,注意有些人在测量时,分格值选的太小,使图像太大,超出了屏幕显示的范围,造成没有图像的假象,如图 3-19 所示。



(10) “Y轴灵敏度”改变Y轴的分格值(伏/格, V/div),在荧光屏上显示合适的波形。注意有些人在测量时,分格值选得小,使图形太大出了荧光屏的显示范围,造成没有图像形的假象。(注意荧光屏下端的分格值)

图 3-19 Y轴灵敏度

(11)“直流/交流(DC/AC)”键,用于选择输入信号的耦合方式是直流输入还是交流输入,注意屏幕下方文字显示电压单位不同,如图 3-20 所示。



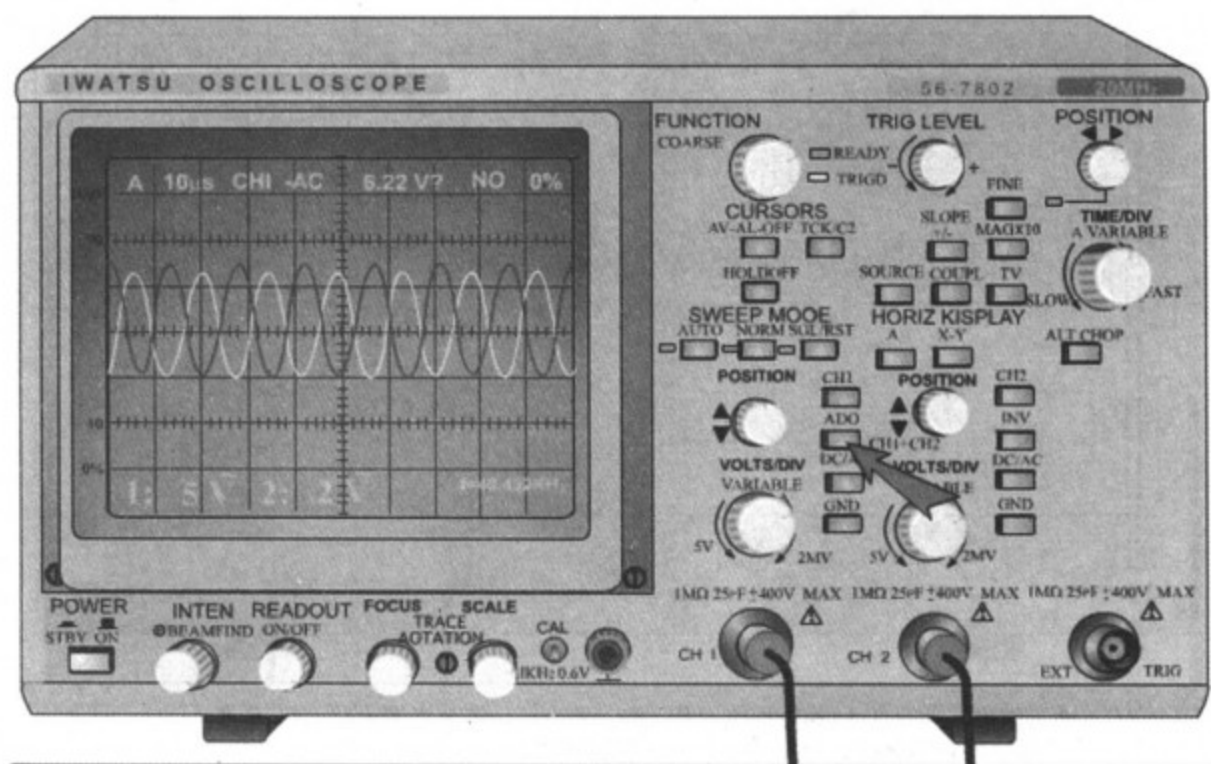
(11) “直流/交流”键,选择输入信号的耦合方式是直流/直流。(注意荧光屏下端文字显示的电压单位符号的不同)

图 3-20 直流/交流键

重点提示 DC耦合方式时,显示输入信号的DC和AC成分;AC耦合方式时,去掉波形中的DC成分,只显示输入波形的AC成分。

(12)“相加(ADD)”键,按下此键,“通道1”、“通道2”的波形相加,并显示叠加波形,

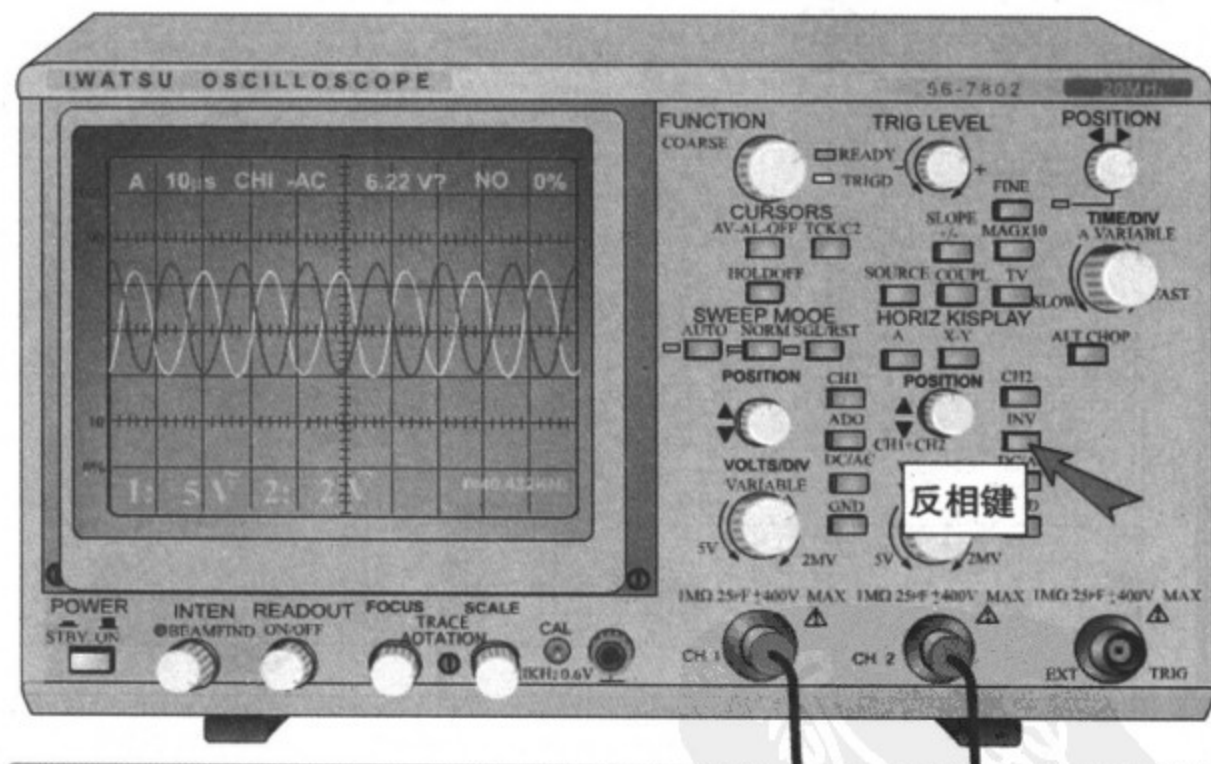
屏幕下方会出现“+”号,再按一下此键,“+”号消失,取消波形叠加,如图 3-21 所示。



(12) “相加”键,按下此键,通道 1、通道 2 的波形相加,并显示叠加波形;荧光屏下端会出现“+”号,在按此键“+”号消失,取消波形叠加。

图 3-21 相加键

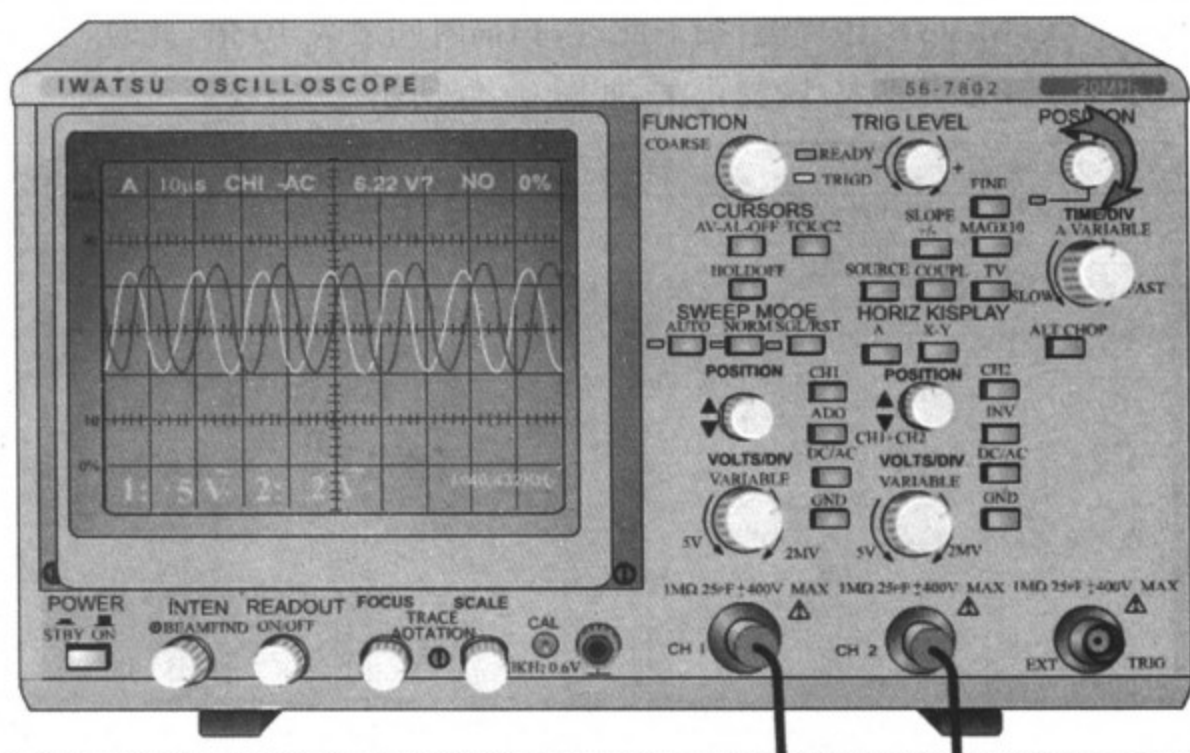
(13)“反相(INV)”键,按下此键,通道 2 的信号反相,相当于“通道 1”、“通道 2”的信号相减,此时,在屏幕下端出现“2↓”,再按此键,反相消失,如图 3-22 所示。



(13) “反相”键,按下此键,通道 2 的信号反相,相当于通道 1、通道 2 的信号相减;此时在荧光屏下端出现“2↓”,再按此键“反相”消失。

图 3-22 反相键

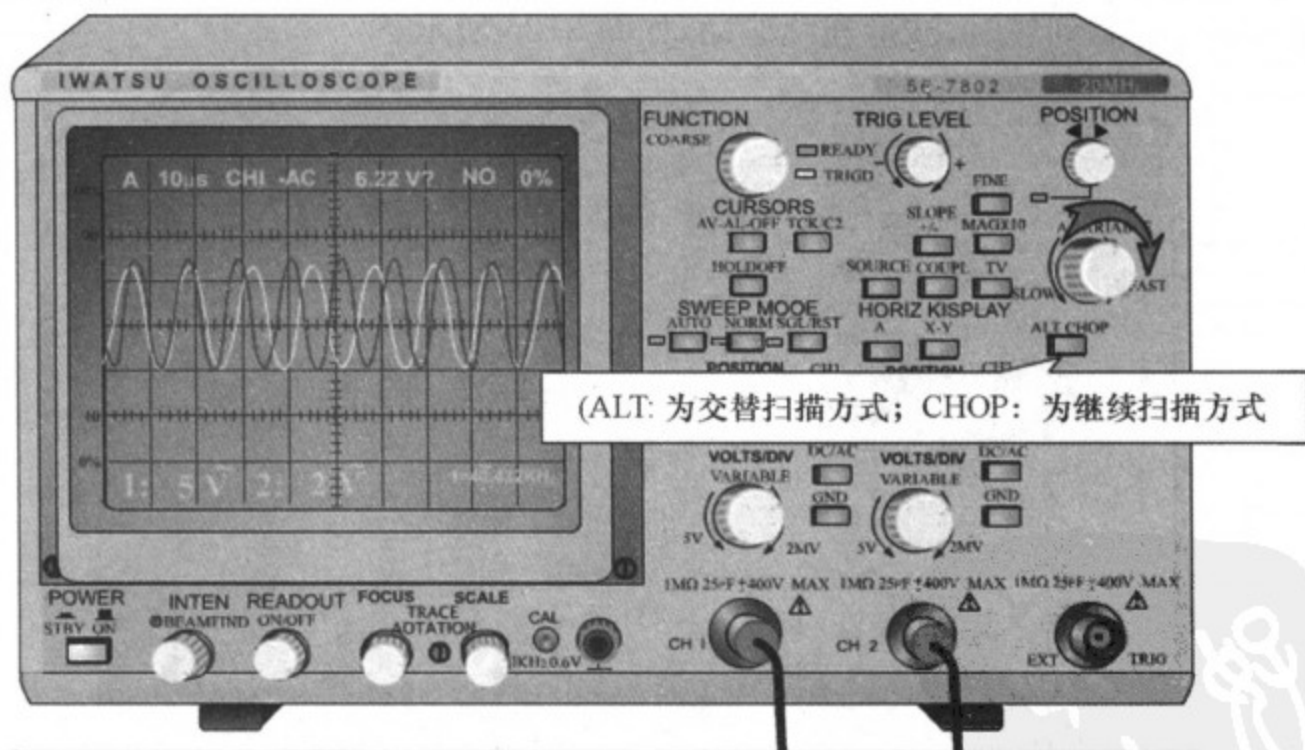
(14)X 轴“水平位置”钮,用于调节图像在水平方向的位置。屏幕上端的符号表示与 X 轴相关的各控制键的功能,如图 3-23 所示。



(14) 示波器的 X 轴：“水平位置”钮，调节图形在水平方向的位置。
(荧光屏上端的文字符号表示与 X 轴相关的各控制键的功能)

图 3-23 水平位置

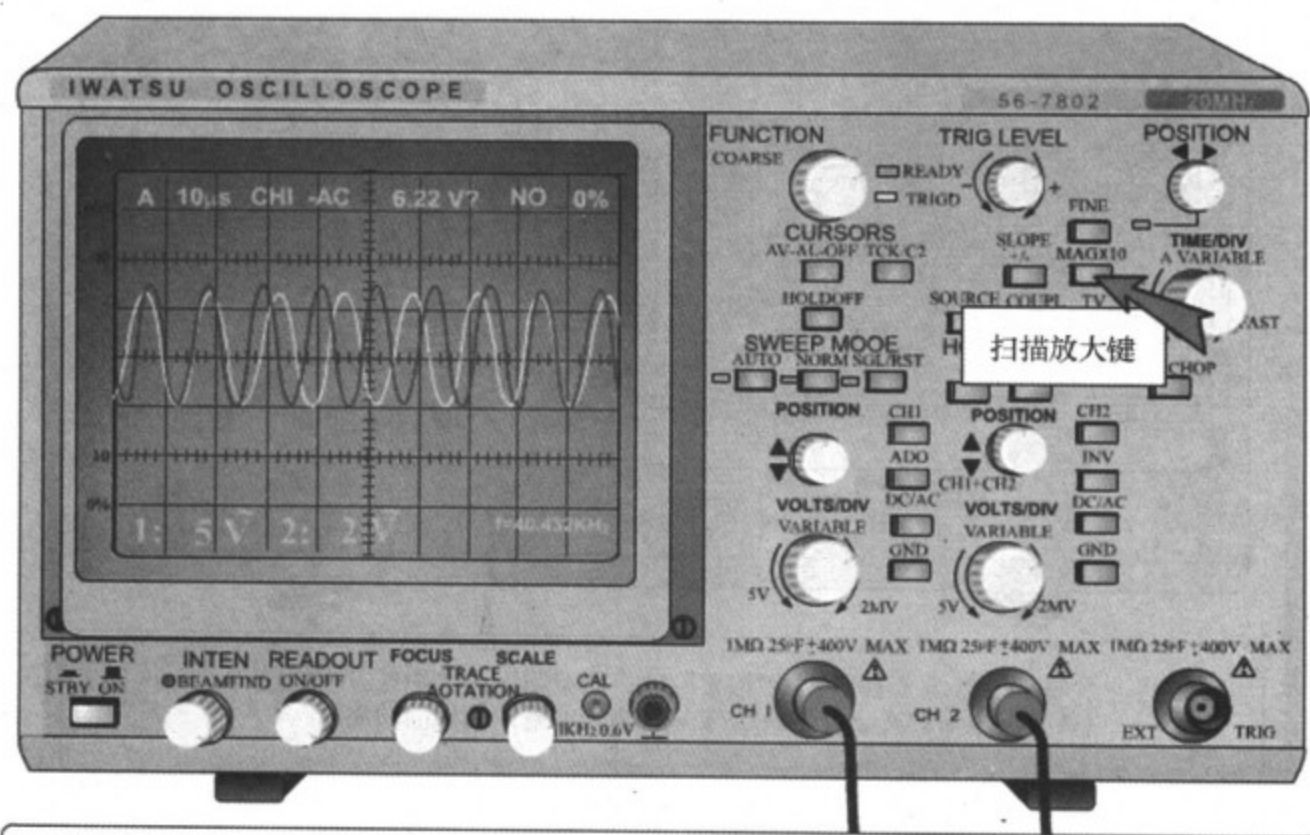
(15)“扫描时间(TIME/DIV)”钮,用于改变扫描时间的分格值(时间/格, t/div),显示时间的变化显示在屏幕的左上方,按下“扫描时间”钮,屏幕左上方出现“>”号,此时调节该钮只对波形进行微调,扫描时间不变,再按此钮,“>”号消失,恢复扫描时间调节,如图 3-24 所示。



(15) “扫描时间”钮,改变扫描时间的分格值(时间/格, t/div),扫描时间的变化显示在荧光屏左上端,按下“扫描时间”钮,荧光屏左上端出现“>”,此时调节该钮只对波形进行微调,扫描时间不变。再按此钮“>”消失,恢复扫描时间的调节。

图 3-24 扫描时间

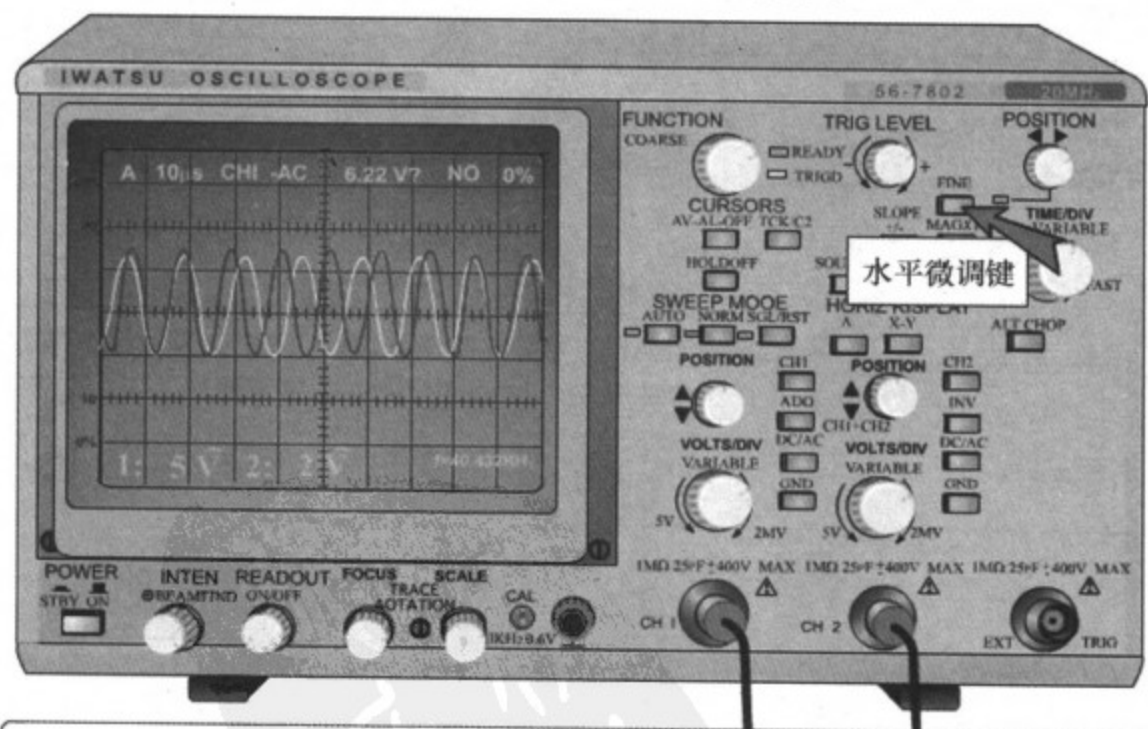
(16)“扫描放大(MAG×10)”键,按下此键,扫描时间放大 10 倍,此时,屏幕右下角显示“MAG”,再按此键,关闭放大,恢复正常,如图 3-25 所示。



(16) “扫描放大” 键，按下此键扫描时间放大 10 倍，此时在荧光屏右下角显示 “MAG”。再按此键，关闭 “放大”，恢复正常。

图 3-25 扫描放大

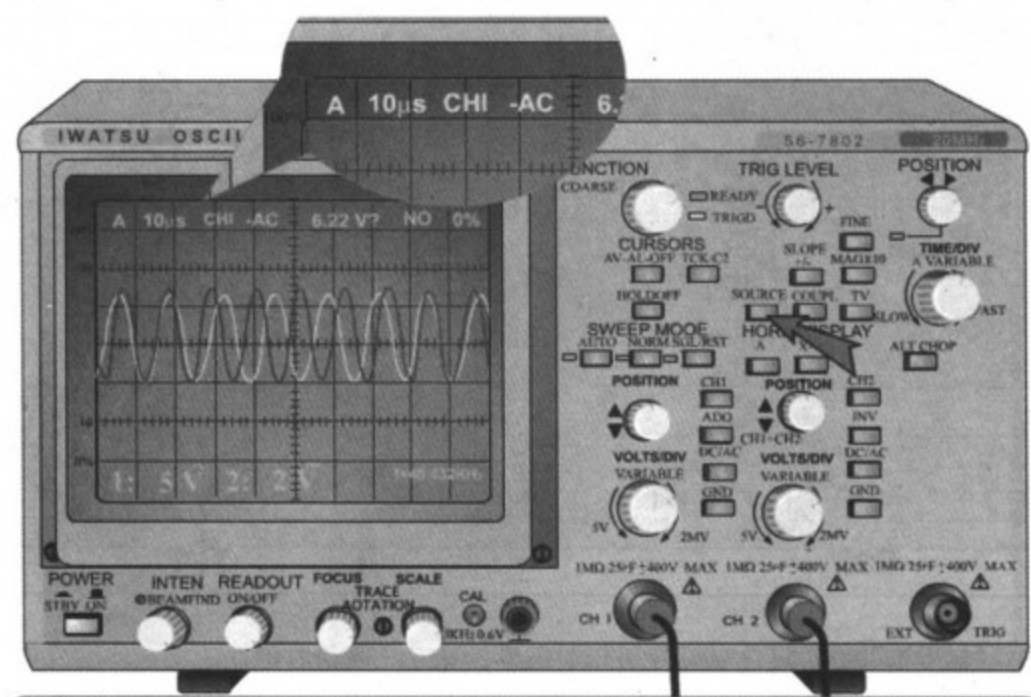
(17)“水平微调(FINE)”键,按一下此键小灯亮,此时“水平位置”变成微调,当“水平位置”钮左旋或右旋到底时,波形连续滚动,如图 3-26 所示。



(17) “水平微调”，按一下此键小灯亮，此时“水平位置”调节变成微调，当“水平位置” 钮左旋或右旋到底时，波形连续滚动。

图 3-26 水平微调

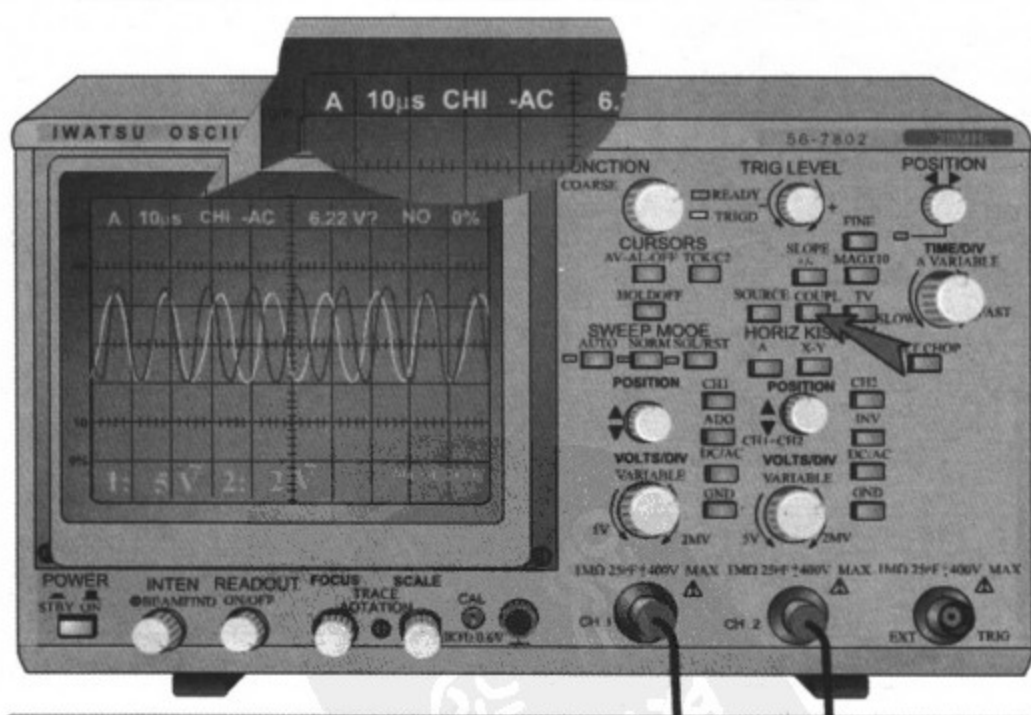
(18)“触发源(SOURCE)”键,连续按此键,可选择不同的触发源,所选择的触发源显示在屏幕的上端,可有 5 种选择:CH1(取自通道 1 的信号),CH2(取自通道 2 的信号),EXT(取自外触发源的信号),LINE(取自通道电源的信号),VERT(取自通道 1 和通道 2 的混合信号)。例如,在实际使用中,要观察 CH1 的信号,就选择“CH1”为触发源,如图 3-27 所示。



(18) “触发源”键,连续按此键选择不同的触发源(所选择的触发源显示在荧光屏的上端),可有 5 种选择: CH1(取自通道 1 的信号),CH2(取自通道 2 的信号),EXT(取自外触发源的信号),LINE(取自通道电源的信号),VERT(取自通道 1、通道 2 的混合信号)。例如: 在实际使用中,要观测 CH1 的被测信号,就选 CH1 为触发源。

图 3-27 触发源

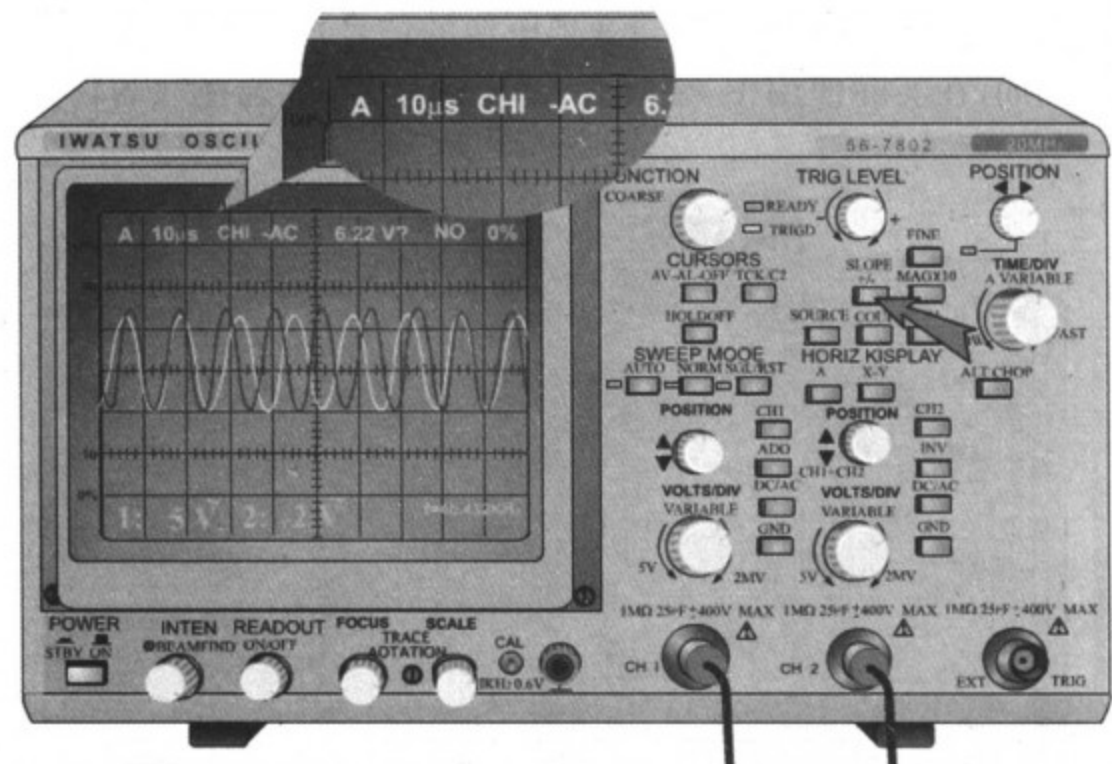
(19)“触发耦合(COUPPL)”键,连续按此键,可选择 4 种触发耦合方式:AC(交流),DC(直流),HF-R(抑制高频),LF-R(抑制低频),如图3-28所示。



(19) “触发耦合”键,连续按此键可选择 4 种触发器耦合方式: AC,DC, HF-R(抑制高频),LF-R(抑制低频)。

图 3-28 触发耦合

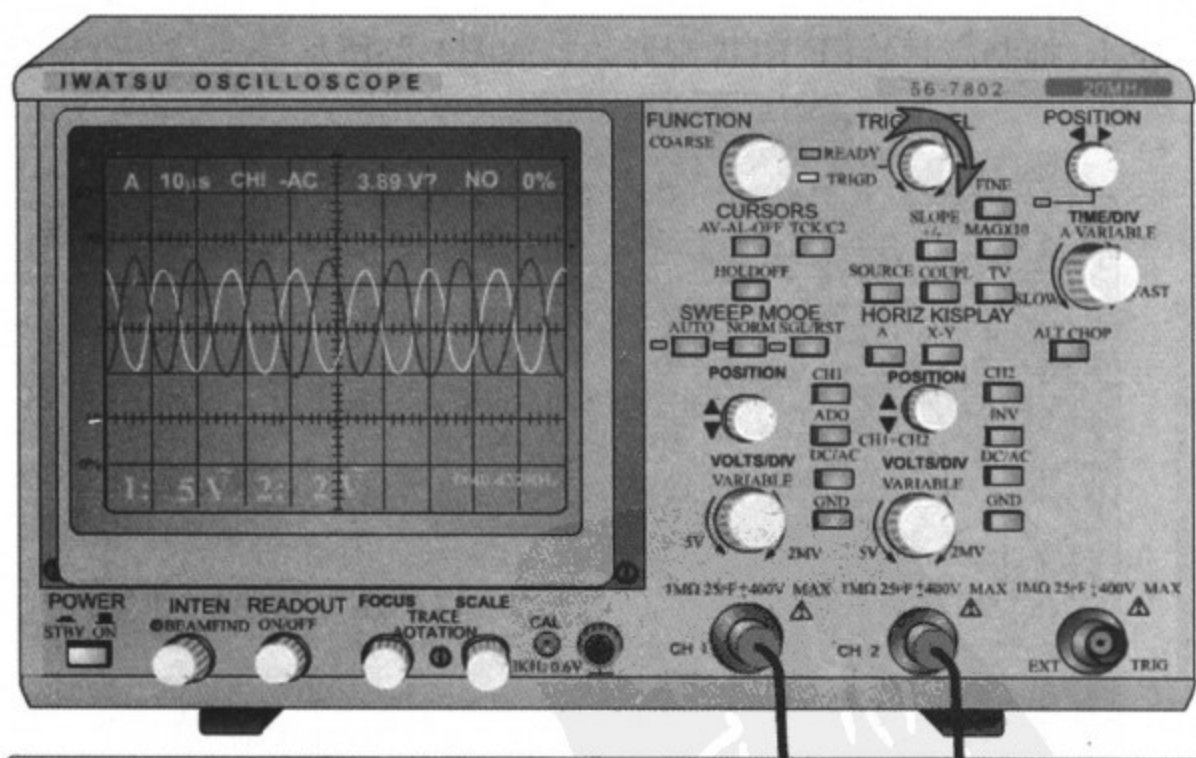
(20)“触发沿(SOLPE)”的选择:“+”表示上升沿触发,“-”表示下降沿触发,如图 3-29所示。



(20) “触发沿”的选择: + 表示上升沿时触发,- 表示下降沿时触发。

图 3-29 触发沿

(21)“触发电平(TRIG LEVEL)”钮,旋转此钮,当钮旁的 TRIGD 灯亮时,说明触发电平已调合适,此时,屏幕上的波形一定是稳定的,一旦 TRIGD 灯熄灭,波形则无法稳定,则需调节“触发电平”钮使灯亮,如图 3-30 所示。



(21) “触发电平”钮,旋转此钮,当钮旁的“TRIG'D”灯亮时,说明触发电平已调合适,此时荧光屏上的波形一定是稳定的。一旦“TRIG'D”灯灭,波形就无法稳定,则需调节“触发电平”钮,使灯亮。

图 3-30 触发电平

The image shows an Iwatsu Oscilloscope, model 56-7802. The front panel features a central CRT display showing a periodic waveform. Above the display, the text "IWATSU OSCILLOSCOPE" and "56-7802" are printed. To the right of the display, there are several control sections:

- FUNCTION COARSE**: Includes a knob and switches for READY and TRIGD.
- CURSORS**: Includes a knob and switches for AV, AL OFF, TCK, C2, HOLD OFF, and SWEET MOOE.
- SWEET MOOE**: Includes a knob and switches for AUTO, NORM, SGL, RST.
- VOLTS/DIV VARIABLE**: Includes a knob and switches for CH1, ADO, DC/AC, GND, and CH1+CH2.
- TRIG LEVEL**: Includes a knob and switches for SLOPE, MAG X10, SOURCE, COUP L, TV, SLOW, FAST, and ALT CHOP.
- POSITION**: Includes a knob and switches for CH1, CH2, INV, DC/AC, and GND.

A hand cursor points to the CH1+CH2 switch. Below the display, there are controls for POWER, INTEN, READOUT, FOCUS, SCALE, TRACE ROTATION, CAL, and BRIGHTNESS. At the bottom, there are input jacks for CH 1, CH 2, EXT, and TRIG.

图 3-31 扫描显示

The image shows an Iwatsu 56-7802 oscilloscope. The screen displays a sine wave with the following settings: A 10µs, CH1 -AC, 3.89 V?, NO 0%. The control panel on the right includes sections for FUNCTION COARSE, TRIG LEVEL, POSITION, CURSORS, SWEET MOOE, HORIZ KISPLAY, and VOLTS/DIV. The bottom panel has POWER, INTEN, READOUT, FOCUS, SCALE, CAL, and input jacks for CH 1, CH 2, and TRIG. A hand is pointing at the CH1-CM2 selector switch.

图 3-32 X-Y 显示键

(24)按“ $\Delta V-\Delta t-OFF$ ”键,可选择测电压差、时间差或关闭此读数系统,如图 3-33 所示。

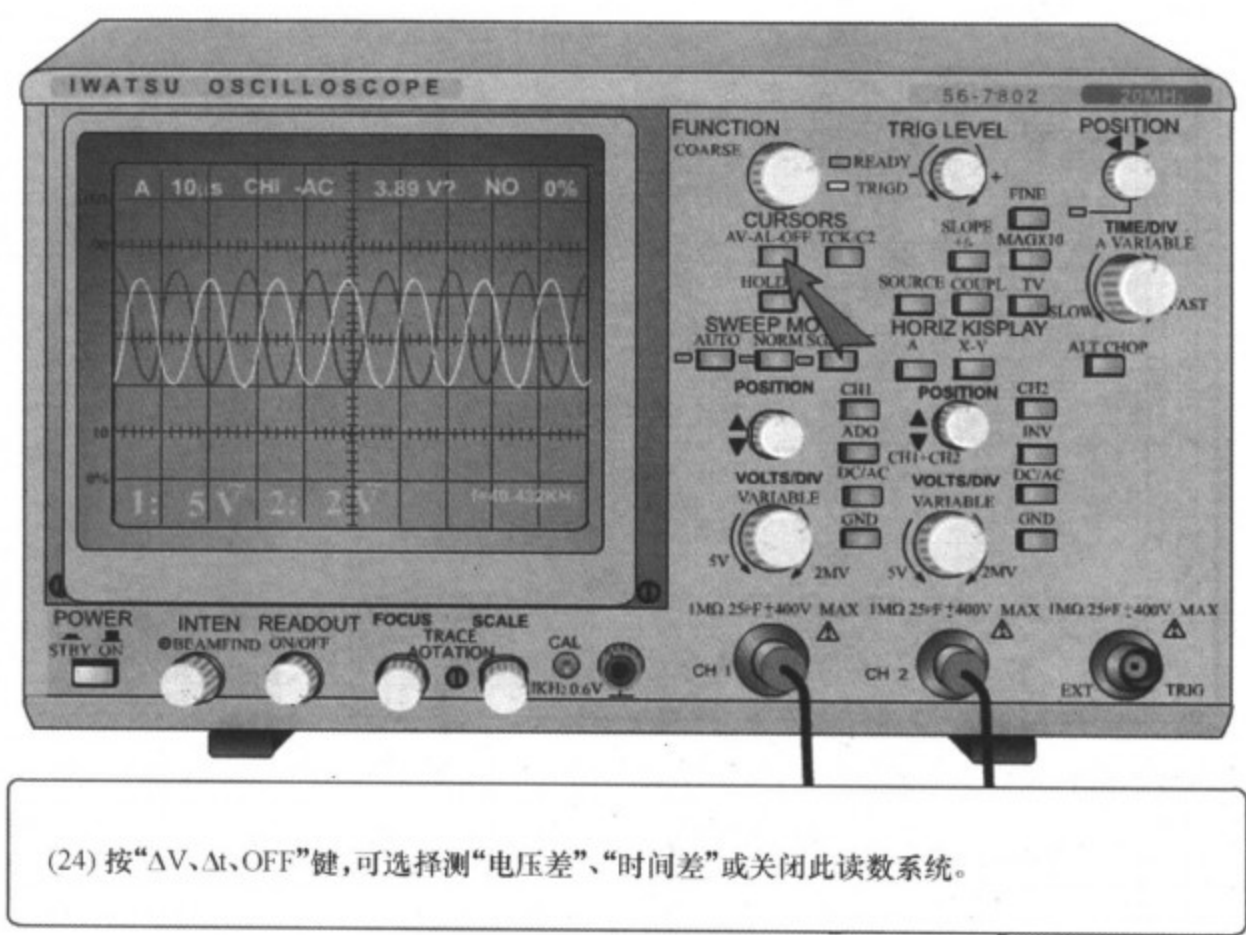


图 3-33 电压差、时间差键

(25)按“光标跟踪(TCK/C2)”键,用来选择让哪条光标移动,如图 3-34 所示。

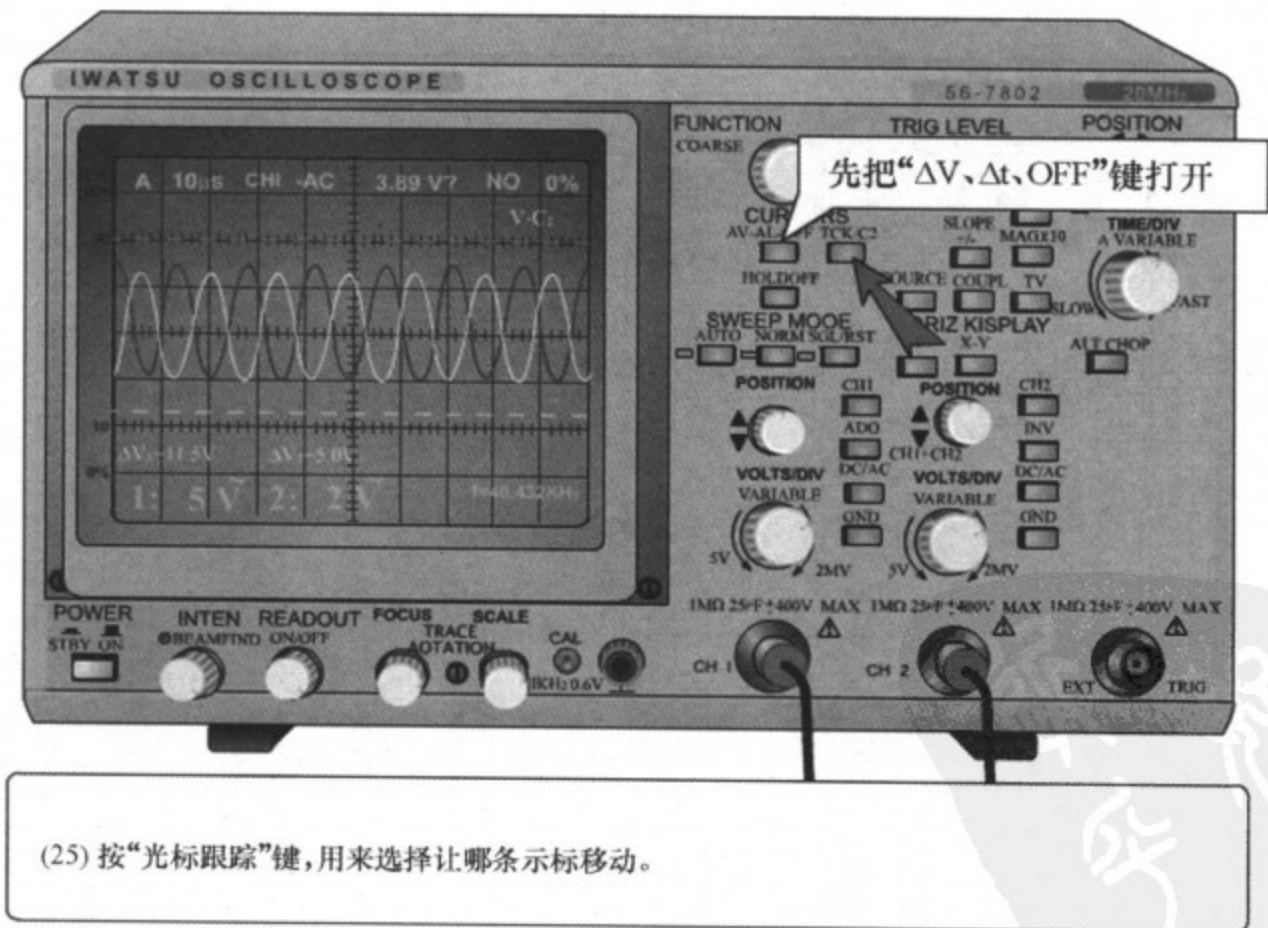


图 3-34 光标跟踪

(26)旋转“光标调节(FUNCTION)”钮,让光标夹住要测量的信号,按此钮,光标移动得快,旋转此钮光标移动得慢,如图 3-35 所示。

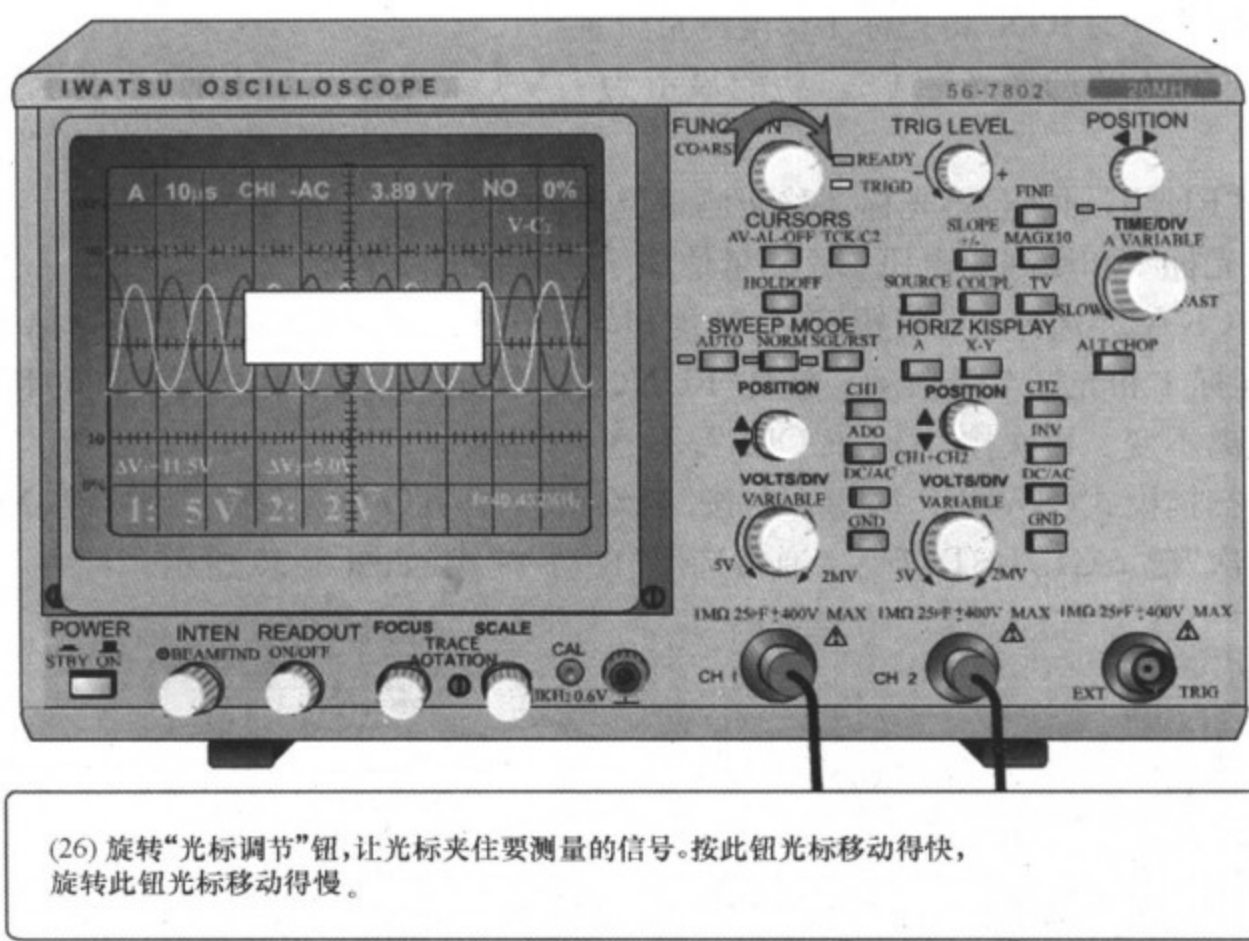


图 3-35 光标调节

方法技巧如下。

①移动测量光标。当按下“ $\Delta V-\Delta t-OFF$ ”键时,示波器处于电压测量或时间测量状态,屏幕上会出现两条垂直或水平的测量光标。使用“TCK/C2”键可以选择要移动的测量光标,然后使用“FUNCTION”键确定光标位置。当“FUNCTION”键被按下或连续按下时,可对位置方向进行粗调。

②时间间隔 Δt 及频率 $1/\Delta t$ 的测量方法。按“ $\Delta V-\Delta t-OFF$ ”键选择 Δt 。将显示光标 1 和光标 2,时间间隔 Δt 及频率 $1/\Delta t$ 的测量值显示于屏幕的左下角。

按“TCK/C2”选择光标 C1。功能显示为 f: H-C1,光标 1 上方的“1”表示光标 1 可移动。

旋转“FUNCTION”将光标 1 移至测量位置。

按“TCK/C2”选择光标 C2。功能显示为 f: H-C2,光标 2 上方的“1”表示光标 2 可移动。

旋转“FUNCTION”将光标 2 移至测量位置。

最新光标 1 和 2 间的时间间隔 Δt 及频率 $1/\Delta t$ 测量值显示于屏幕的左下角。

按“TCK/C2”选择 TCK(跟踪)。功能显示为 f: H-TRACK,光标 1 和光标 2 上方的“1”表示光标 1 和光标 2 可移动。旋转“FUNCTION”时,光标 1 和光标 2 同时移动,但光标间的距离不变。再次按“ $\Delta V-\Delta t-OFF$ ”,不显示光标。

③电压(V)的测量方法。按“ $\Delta V-\Delta t-OFF$ ”选择 ΔV 。将显示光标 1 和光标 2,光标 1 和光标 2 间的 $\Delta V1$ 和 $\Delta V2$ 测量值显示于屏幕的左下角。

按“TCK/C2”选择光标 C1。功能显示为 f: V-C1, 光标 1 左边的“-”表示光标 1 可移动。

旋转“FUNCTION”将光标 1 移至测量位置。

按“TCK/C2”选择光标 C2。功能显示为 f: V-C2, 光标 2 左边的“-”表示光标 2 可移动。

旋转“FUNCTION”将光标 2 移至测量位置。

最新光标 1 和 2 间的电压 ΔV 测量值显示于屏幕的左下角。

按“TCK/C2”选择 TCK(跟踪)。功能显示为 f: V-TRACK, 光标 1 和光标 2 左边的“-”表示光标 1 和光标 2 可移动。旋转“FUNCTION”时, 光标 1 和光标 2 同时移动, 但光标间的距离不变。再次按“ $\Delta V-\Delta t$ -OFF”, 不显示光标。

(27)扫描模式(SWEEP MODE), 按“自动”键, AUTO 灯亮, 按“正常”键, NORM 灯亮, 按“单次”键, SGL/BST 灯亮。通常选用“自动”模式, 如图 3-36 所示。

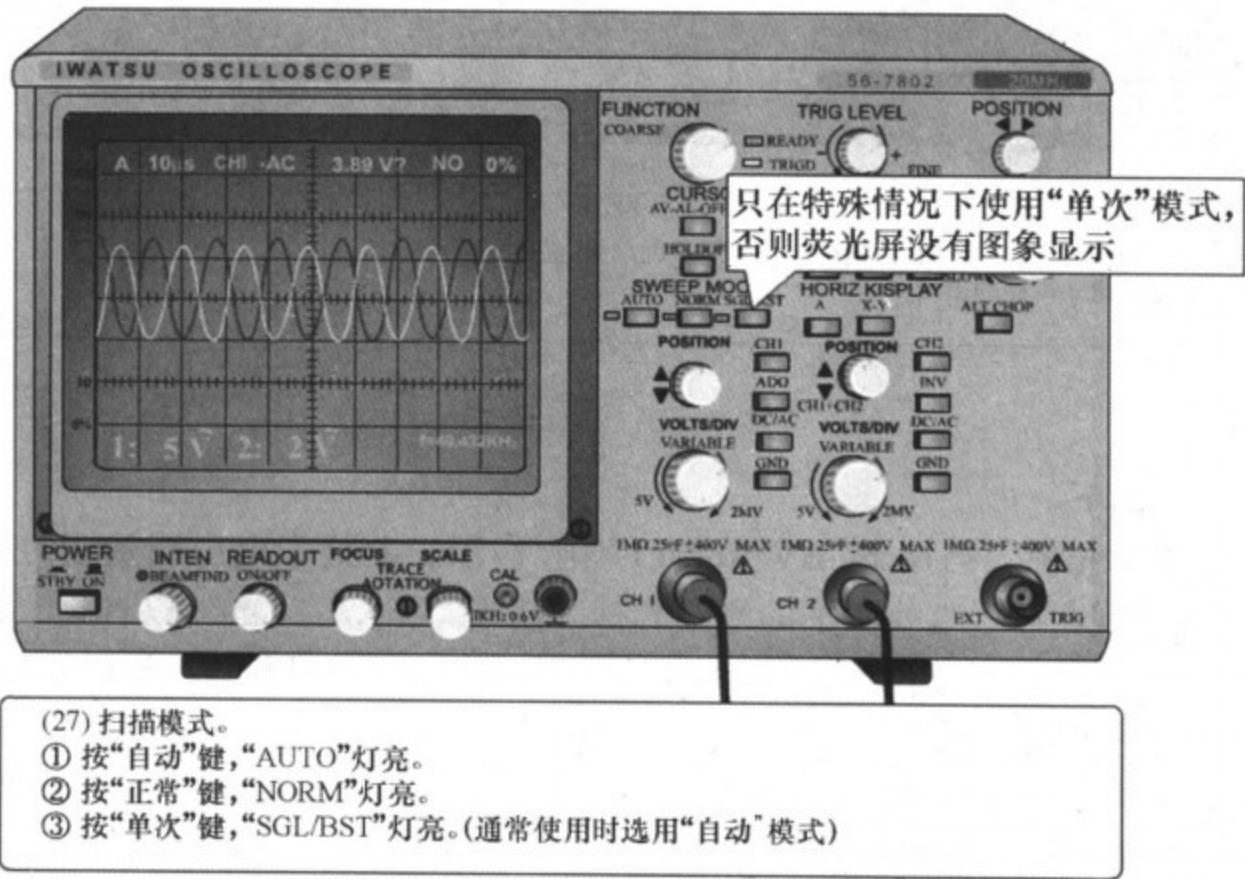


图 3-36 扫描模式

重点提示 对通用示波器的选用, 应在对示波器的基本性能、主要参数等方面有所了解的基础上进行, 因此, 对示波器的基本知识的掌握也是很重要的, 否则对示波器的选用、使用都是较盲目的。例如, 选用示波器就得考虑要测的信号频率是低频还是高频。像一般教学用 325 型示波器, 它要求被测信号的频率最高不超过 2MHz, 可以用它来显示中波收音机电路中各处的信号波形; 但不能用它来显示视频信号, 因为视频信号的频率最高可达 6MHz。再如 ST-16 型示波器, 它所测的信号频率最高为 10MHz, 能测视频信号及电视机的行、场扫描信号; 但不能测电视中频信号, 因为电视中频信号的频率范围为 28MHz~40MHz。若用工作频率较低的示波器去测频率较高的信号的波形会怎么样呢? 就会使显示出来的波形严重失真。示波器的通频带越宽, 被测信号的波形失真就越小。一般要求示波器通频带的上限频率应大于被测信号最高

频率 3 倍以上。例如,要观测频率为 100kHz 的正弦波信号的波形,应选择通频带宽度大于 300kHz 的示波器。

现在较普及的 DC4322 通用 20M 双踪示波器,其频带宽度为 0MHz~20MHz,它不仅频带比上述两种型号的宽,而且可以同时显示两个信号的波形(双踪),因此这种型号的示波器在无线电维修测试中使用是较方便的。但是,有些电信号的波形,DC4322 通用 20M 双踪示波器无法观测,像电视中频信号,其频率高达近 40MHz,这就需要工作频率更高的示波器。

第四节 通用(模拟)示波器的基本测量方法

一、示波器的使用

1. 使用前的准备

下面以 DC4322 通用 20M 双踪示波器为例进行说明。

(1)将面板上的各旋钮置于下列位置(以使用 Y1 通道测量信号为例)。

①辉度控制置于中间。

②输入耦合开关置于 AC。

③V/DIV 选择开关根据被测信号的幅度大小置于适当位置(例如,被测信号在 5V 左右,可将此开关置于 1V/div)。

④位移/直流偏置开关置于中间位置。

⑤工作方式选择开关置于通道 1 位置。

⑥扫描时间选择开关根据被测信号的频率置于合适位置。一般情况下,若测量的是行同步信号,宜置于 $5\mu\text{s}/\text{div} \sim 20\mu\text{s}/\text{div}$ 。若测量的是场同步信号,宜置于 $5\text{ms}/\text{div} \sim 20\text{ms}/\text{div}$ 。若测量的是数字信号,易置于 $0.5\mu\text{s}/\text{div}$ 。

⑦扫描微调置于校正位置(顺时针旋到底)。

⑧触发源选择开关置于“内”。

⑨内触发选择开关置于“Y1”。

⑩触发方式选择置于“自动”。

(2)接通电源开关,电源指示灯亮,几秒钟后,屏幕上应看到一条扫描线,再适当调节辉度旋钮,使扫描线亮度适中,调节聚焦旋钮,使扫描线最细,调节位移旋钮,使扫描线和屏幕中间的水平刻度线重合。

(3)预热几分钟之后,示波器就可以使用了。

2. 示波器探头的校正

示波器探头是一个范围很宽的电压衰减器,应有良好的相位补偿,否则,显示出来的波形会因探头的性能而畸变,产生测量误差。在使用之前,应对探头进行适当的补偿调节。以 DC4322 通用 20M 双踪示波器配备的探头为例,把探头接到通道 Y1 或通道 Y2 的输入端,并把探头的衰减开关置 $\times 10$ 位置。把垂直幅度衰减开关调到 10mV/div 挡,再将探头针触到校准电压输出端子,用示波器附带的无感起子调节探头上的补偿器,使之获得理想的波形,如图 3-37 所示。

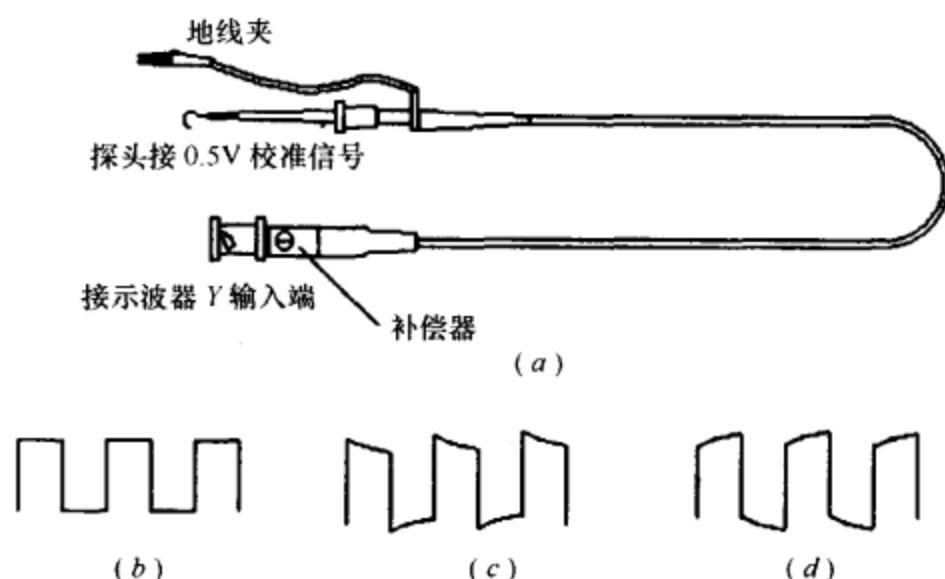


图 3-37 示波器探头的补偿调节

(a)示波器探头；(b)理想波形，不需调节补偿器；(c)需调节补偿器；(d)需调节补偿器。

3. 示波器的校正

1) 示波器精度的校正

示波器在使用一段时间或经存放和修理后，应对示波器进行校准。在用示波器进行定量测量时，对示波器的测试精度进行校准是非常必要的。还有些示波器如 BS-7701 型的测试精度与电源电压有关，当市电电压偏离 220V 较大时，就会产生测量误差，因而在这种情况下也需要对示波器的测试精度进行校准。

示波器精度校准分垂直幅度校准和时基校准两个方面。以 BS-7701 型示波器为例，开机 20min 后，待示波器内部稳定后可开始校准工作。先将 Y 衰减开关放“校正”挡，扫描速度放 0.1ms/格挡，调节同步旋钮使显示波形稳定，屏幕上应有峰峰值为 4 格的方波，即 40mV，若不是 4 格，应调节 Y 通道上微调电位器 W_3 使垂直幅度正好为 4 格，垂直幅度即告调好。该方波在屏幕水平方向应有 10 个完整波形，即 1 个周期占 1 格，方波周期 $T=1 \text{ 格} \times 0.1 \text{ ms/格} = 0.1 \text{ ms}$ (频率为 10kHz)。若一个周期在水平方向所占的格数大于 1 格或小于 1 格，说明扫描速度变快了或变慢了，应调节 X 轴通道板上的微调电位器 W_7 ，当扫描方波在水平方向刚占 10 格时，就完成了时基校准工作。

2) 扫描基线的校正

示波器应用在不同的场合会因外磁场的不同而引起扫描基线发生倾斜，此时需要对扫描基线进行校正，以 DC4322 通用 20M 双踪示波器为例，校正方法是：用螺丝刀调节“基线旋转”（第 5 旋钮）。使扫描线和示波器的水平刻度线平行。

3) 直流平衡校正

以 DC4322 通用 20M 双踪示波器为例，直流平衡校正的方法是：置 Y1、Y2 输入耦合开关接地，置触发方式开关为自动，然后移扫描线到刻度中心（垂直方向）。然后，将 V/DIV 开关在 5mV 挡和 10mV 挡之间变换，调节“直流平衡调节”（第 24 旋钮、第 25 旋钮），直至扫描线无任何位移即可。

注意事项如下。

(1) 测试前，应首先估算被测信号的幅度大小，若不明确，应将示波器的 V/DIV 选择开关置于最大挡，避免因电压过大因损坏示波器。

(2)DC4322 通用 20M 双踪示波器和其他大多数示波器有一些扩展挡位和旋钮,定量测量时一定要检查一下这些旋钮所处的状态,否则会引起读数错误。

(3)用示波器检测家用电器时,示波器探头也有一个接地点的选择问题。检测电路主板部分时,探头地线夹要接主板地,检测电源部分时,探头地线夹则要接电源部分的悬浮地。

(4)若测量信号比较弱,示波器上显示的波形就不容易同步。这时,可采取以下两种方法加以解决(以 DC4322 通用 20M 双踪示波器为例)。

①仔细调节示波器上的触发电平控制旋钮(第 34 旋钮),使被测信号稳定和同步。必要时,可结合调整扫描微调旋钮(第 27 旋钮),但应注意,调节该旋钮,会使屏幕上显示的频率读数发生变化(反时针旋转扫描因素扩大 2.5 倍以上),给计算频率造成一定困难,一般情况下,应将此旋钮顺时针旋转到底,使之位于校正位置(CAL)。

②可使用与被测信号同频率(或整数倍)的另一强信号作为示波器的触发信号,例如,测试视频信号常取行逆程脉冲或行同步信号作为触发信号,该信号可以从直接从示波器的第 2 通道输入。

(5)示波器工作时,周围不要放一些大功率的变压器,否则,测出的波形会有重影和噪声干扰。

(6)示波器可作为高内阻的电流电压表使用,电路中有一些高内阻电路,若用普通万用表测电压,由于万用表内阻较低,测量结果会不准确,而且还可能会影响被测电路的正常工作,而示波器的输入阻抗比起万用表要高得多,使用示波器直流输入方式,先将示波器输入接地,确定好示波器的零基线,就能方便地测量被测信号的直流电压。

二、示波器的基本测量方法

下面以 DC4322 通用 20M 双踪示波器为例进行说明。

1. 电压的测量

(1)交流电压的测量。交流电压的测量也就是测量信号的峰峰值,即信号的幅度。测量时,将输入耦合开关置于 AC 位置(扩展控制开关未拉出),被测交流电压信号从 Y1 或 Y2 输入,调节 V/DIV 开关,使波形幅度合适。如果不知道被测信号幅度,可先放在衰减较大的挡位(如 5V/div),然后逐步减小衰减量使幅度便于观察。扫描时间选择开关以便于观察读数为宜,然后调节触发电平控制旋钮,使屏幕上出现稳定的波形。从屏幕上读出波形峰峰间所占的格数,将它乘以 V/DIV 选择开关的挡位,即可计算出被测信号的交流电压值。

被测信号的幅度值等于被测信号在垂直方向所占的格数与伏/度(V/DIV)选择开关的乘积,用公式表示为

幅度值=伏/度选择开关的挡位×被测信号所占格数

例如,若测得的某一信号的波形如图 3-38 所示,其中,伏/度选择开关置于 0.5V/div,扫描时间选择开关置于 0.5ms/div,测试探头置于 1:1。从图中可以看出,该波形的峰峰值在垂直方向上占 4 格,根据以上公式,可知该信号的幅度值为

$$0.5\text{V/div} \times 4 \text{ 格} = 2\text{V}$$

若测试探头置于 10:1,则被测信号的幅度值应乘以 10,即 $2\text{V} \times 10 = 20\text{V}$ 。

(2)直流电压的测量。置输入耦合开关于“DC”位置,扫描时间选择开关可置任意挡,

被测信号直接从Y轴输入,若扫描线原在中间,则正电压输入后,扫描线上移,负电压输入后,扫描线下移,扫描线偏移的格数乘以伏/度选择开关的挡位,即可计算出输入信号的直流电压值。

例如,图 3-38 是示波器探头置于 1:1,输入耦合开关置于“AC”位置所测得的信号,若将输入耦合开关置于“DC”后,被测信号波形向上平移了 3 格,则根据以上可知:被测点的直流电压为

$$3 \text{ 格} \times 0.5 \text{ V/div} = 1.5 \text{ V}$$

在图 3-38 中,若使用的是 10:1 探头,将输入耦合开关置于“DC”后,若被测信号波形向上仍平移了 3 格,则被测点的直流电压为

$$3 \text{ 格} \times 0.5 \text{ V/div} \times 10 = 15 \text{ V}$$

(3)瞬时电压的测量。在一般情况下,被测信号的电压同时含有直流分量和交流分量,在测量时,有时也需要将两种分量的复合值即瞬时电压测出。瞬时电压测量与交流分量电压测量有一定区别,瞬时电压的测量需要一个参考电平线。

将 AC-GND-DC 开关置 DC 位置,先将 Y1(或 Y2)输入端接地,调 Y1(或 Y2)位移旋钮,根据被测信号的极性和幅度将扫描线移到某一水平坐标线上(图 3-39),在参考电平线之确定之后,Y 位移旋钮不能再动,后面的测量均以此线为标准。将信号从 Y 输入端加入,调节 V/DIV 选择开关和扫描时间选择开关及触发电平控制旋钮,使屏幕上得到稳定且便于读数的波形。这时若 V/DIV 选择开关在 1V/div 位置,则

$$A \text{ 点的瞬时电压} = d_1 \times 1 \text{ V/div} = 5 \text{ div} \times 1 \text{ V/div} = 5 \text{ V}$$

$$B \text{ 点的瞬时电压} = d_2 \times 1 \text{ V/div} = 1 \text{ div} \times 1 \text{ V/div} = 1 \text{ V}$$

由于三角波波形对称,故其平均电平处在三角波中心,因而其直流分量 V 为

$$V = d_3 \times 1 \text{ V/div} = 3 \text{ div} \times 1 \text{ V/div} = 3 \text{ V}$$

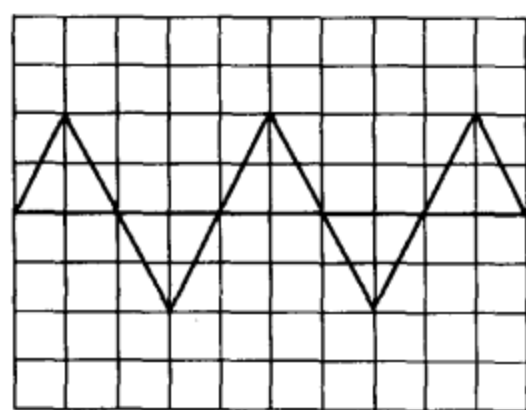


图 3-38 所测波形图

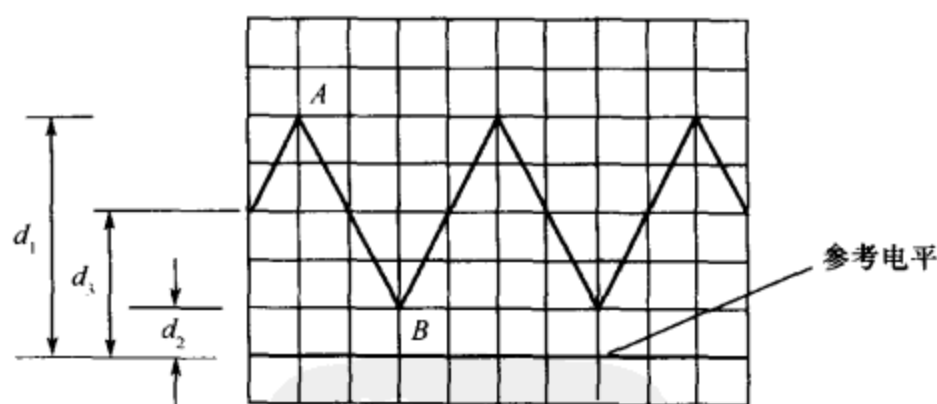


图 3-39 瞬时电压的测量

2. 频率和周期的测量

示波器上显示的波形的周期和频率,用波形在 X 轴上所占的格数来表示。被测信号一个完整的波形所占的格数与扫描时间开关的挡位的乘积,就是该波形的周期 T 。周期的倒数就是频率(f)。用公式表示为

$$\begin{aligned} \text{周期}(T) &= \text{扫描时间选择开关的挡位} \times \text{被测信号一个周期在水平方向上所占的格数} \\ \text{频率}(f) &= 1/T \end{aligned}$$

例如,图 3-38 中(伏/度选择开关置于 0.5V/div ,扫描时间选择开关置于 0.5ms/div),由于被测信号在一个周期内占用 4 格,所以被测信号的周期为

$$0.5\text{ms} \times 4 = 2\text{ms}$$

频率为

$$f = 1/T = 1/2\text{ms} = 1/0.002\text{s} = 500\text{Hz} = 0.5\text{kHz}$$

当扩展旋钮(第 29 旋钮)被拉出时,上述计算的周期应除以 10。

3. 相位的测量

用双踪示波器测量两个频率相同的信号的相位关系是很方便的。可按下列步骤进行。

- (1)将“工作方式开关”置于“交替”或“断续”挡(视信号频率的高低而定)。
- (2)将 Y 轴“内触发源选择开关”置于“Y2”位置。
- (3)“触发源选择开关”选用“内”触发挡。
- (4)将被测信号从 Y 通道输入插座 Y1 和 Y2 输入。

设在屏幕上显示出如图 3-40 所示的波形。

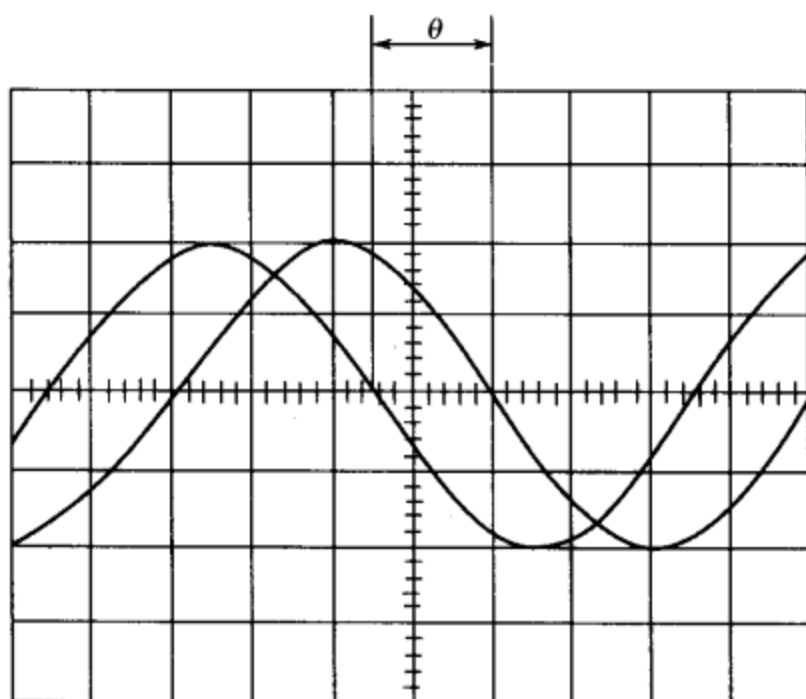


图 3-40 相位的测量

图中所示每一个信号的周期都占 8 格(div)。因为正弦波一个周期对应 360° ,即 8 格对应 360° ,1 格对应着 45° 。从图中可以清楚地看出两个波形的相位差为 1.5 格,即它们的相位差为

$$\theta = 1.5 \times 45^\circ = 67.5^\circ$$

4. 测量电路元件两端的电压波形

例如,测试彩色电视机行偏转线圈两端的电压波形时,可按以下方法进行。

将示波器的探头 1(CH1)接于偏转线圈的另一端(Y1 输入),探头 2(CH2)接于偏转线圈的另一端(Y2 输入),CH1、CH2 探头地接于主板地线。

示波器的 INT MODE(内触发)开关置于 VERT MODE(组合方式),MODE(模式)开关置于 ADD(相加)位置,将示波器的右 POSITION 开关拔出(使 Y2 变为 $-Y2$),此时测得的波形即为偏转线圈两端的波形。

5. 电流波形的测量

测信号电流的波形时,可在被测电路中串一个小电阻(为了在测量时不影响电路的正常工作,所以串的这个电阻值要小),测这个小电阻上电压降的波形就是测得电流的波形。

6. 用李沙育图形法进行测量

示波管内的电子束受 X 偏转板上正弦电压作用时,屏上亮点作水平方向的谐振动;受 Y 偏转板上正弦电压作用时,亮点作垂直方向的谐振动;如果 X 轴、Y 轴同时加上正弦电压时,亮点的运动是两个相互垂直运动的合成。X 方向振动频率 f_x 与 Y 方向振动频率 f_y 相同时,亮度合成运动的轨迹一般是一个椭圆。一般地,如果频率比值 $f_y : f_x$ 为整数比,合成的运动轨迹是一个封闭的图形,称为李沙育图形。

(1)用李沙育图形法测量频率。将已知频率信号(标准信号)加至示波器 X 轴输入端,将被测频率信号加至 Y 轴输入端,调节 X 轴、Y 轴增益,屏幕上将会出现大小适中的李沙育图形。其测量接线简图如图 3-41 所示。

图 3-42 所示的是一部分不同频率比的李沙育图形。不同频率比的李沙育图形还有很多,此法测频率时,可多找一些参考资料,以便进行分析。

(2)用李沙育图形法测量相位差。当输入到示波器的 X 轴和 Y 轴的信号频率相同,而相位不同时,便出现不同的李沙育图形,图 3-43 所示就是这种图形的一部分。其实,图 3-43 所示的李沙育图形中,有的不仅频率不同,而且相位也不同。

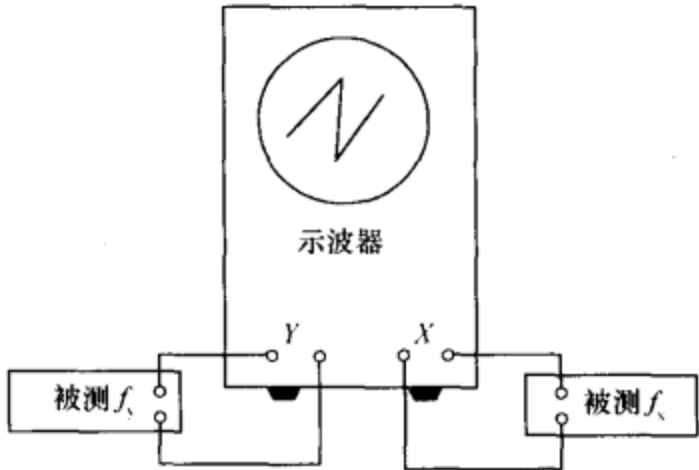


图 3-41 李沙育波形法连接简图

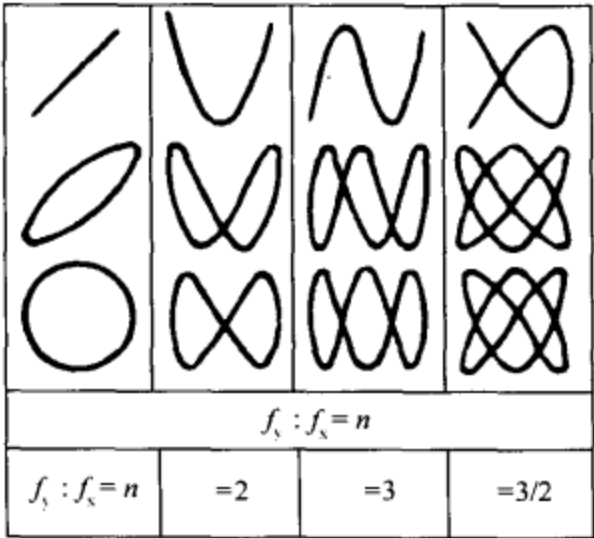


图 3-42 不同频率比的李沙育波形

相位差 ϕ	图 形
$\phi = 0^\circ$	
$\phi = 30^\circ$ $\phi = 330^\circ$	
$\phi = 90^\circ$ $\phi = 270^\circ$	
$\phi = 150^\circ$ $\phi = 210^\circ$	
$\phi = 180^\circ$	

图 3-43 用李沙育波形
测量相位差

第五节 数字存储示波器简介

一、数字存储示波器概述

人们在使用示波器对信号波形进行测试时,常希望被观测的波形能保存一段时间,需要时再取出来重新加以显示,或与其他波形进行比较。在观测单次瞬变信号、超低频缓变信号和非周期信号时,波形的存储和记忆则显得更为重要。

具有波形存储功能的示波器称为存储示波器,而将信号以数字形式存储于半导体存储器中的示波器,称为数字存储示波器。它借助于数字存储技术,改变了传统模拟示波器的工作方式,主要由取样存储、读出显示和控制系统组成。在进行测量时,首先对实时信号进行取样,经 A/D 转换器转换为数字量,存入到半导体存储器中,然后根据测量需要,再取出存储的内容,经 D/A 转换器转换为模拟量后,把被测波形重现在示波管上。若控制系统由微型计算机组成,称为智能化数字存储示波器。目前大部分数字存储示波器都属此种类型。

智能化数字存储示波器是模拟示波器技术、数字化测量技术、计算机技术的综合产物,其内部采用了大规模集成电路和微处理器,整个仪器在控制程序的统一指挥下工作。它能够长期存储波形,可进行负延时触发,便于观测单次过程和缓变信号,具有多种显示方式和多种输出方式,还可进行数学计算和数据处理,功能扩展也十分方便,因此比普通模拟示波器具有更强大的功能。随着大规模集成电路和微型计算机技术的发展,智能化数字存储示波器发展很快,功能不断扩大,价格逐渐下降,使用越来越多。

二、数字存储示波器的特点

由于数字存储示波器是在微型计算机的统一管理下进行工作的,靠数字的存储和读出显示被测波形,因而与普通模拟示波器相比,具有下面一系列优点。

(1)可长期存储波形。在数字存储示波器中,把需要保存的波形存放在参考波形存储器中,由后备电源供电,因此存储内容可长期保存。还可通过写保护功能,使有关存储器只能读出不能写入,以保护重要内容不被改写。

(2)可进行负延时触发。普通模拟示波器只能观察触发以后的信号,而数字存储示波器的触发点可位于显示波形的任何位置,即具有负延时(预延时)功能。利用负延时可观测触发点以前的信号,这是最有用的特点之一,这一功能适合于观测非周期信号和缓变信号。

(3)便于观测单次过程和突发事件。数字存储示波器只要对波形进行一次取样存储,就可以长期保存和多次显示,并且取样存储和读出显示的速度可在很大的范围内调节,因此便于捕捉和显示单次瞬变信号和突发事件。只要设置好触发源和取样速度,就能在事件发生时将其采集下来并存入存储器,这一特点在很多非电量测量中得到广泛应用。

(4)具有多种显示方式。数字存储示波器的显示方式多样而灵活,这也是与普通模拟示波器不同之处,数字存储示波器有存储显示、抹迹显示、卷动显示、放大显示和 X-Y 显示等,可适应不同情况下波形观测的需要。

- (5)便于数据分析和处理。由于微型计算机具有数字处理和计算能力,所以数字存储示波器具有数据分析和处理功能。如对多次取样数据取平均值计算、信号的各种电压值计算、时间间隔计算、两个波形的叠加运算等。
- (6)可用数字显示测量结果。由于微型计算机有一套成熟的字符显示功能,所以数字存储示波器可直接在屏幕上用数字形式显示测量结果,读数直观无视差,测量准确度很高。
- (7)具有多种方式输出。数字存储示波器存储的数据可在微型计算机管理下通过多种接口,用各种方式输出。
- (8)便于进行功能扩展。数字存储示波器与所有的微机化仪器一样,可在不改动硬件的情况下,只改变工作程序即可扩展仪器的测试功能,这是常规模拟示波器所不能实现的。

三、数字存储示波器的组成

数字存储示波器是由取样存储、读出显示和系统控制 3 大部分组成,它们之间通过数据总线、地址总线和控制总线相互联系和交换信息,以完成各种测试功能,基本组成框图如图 3-44 所示。

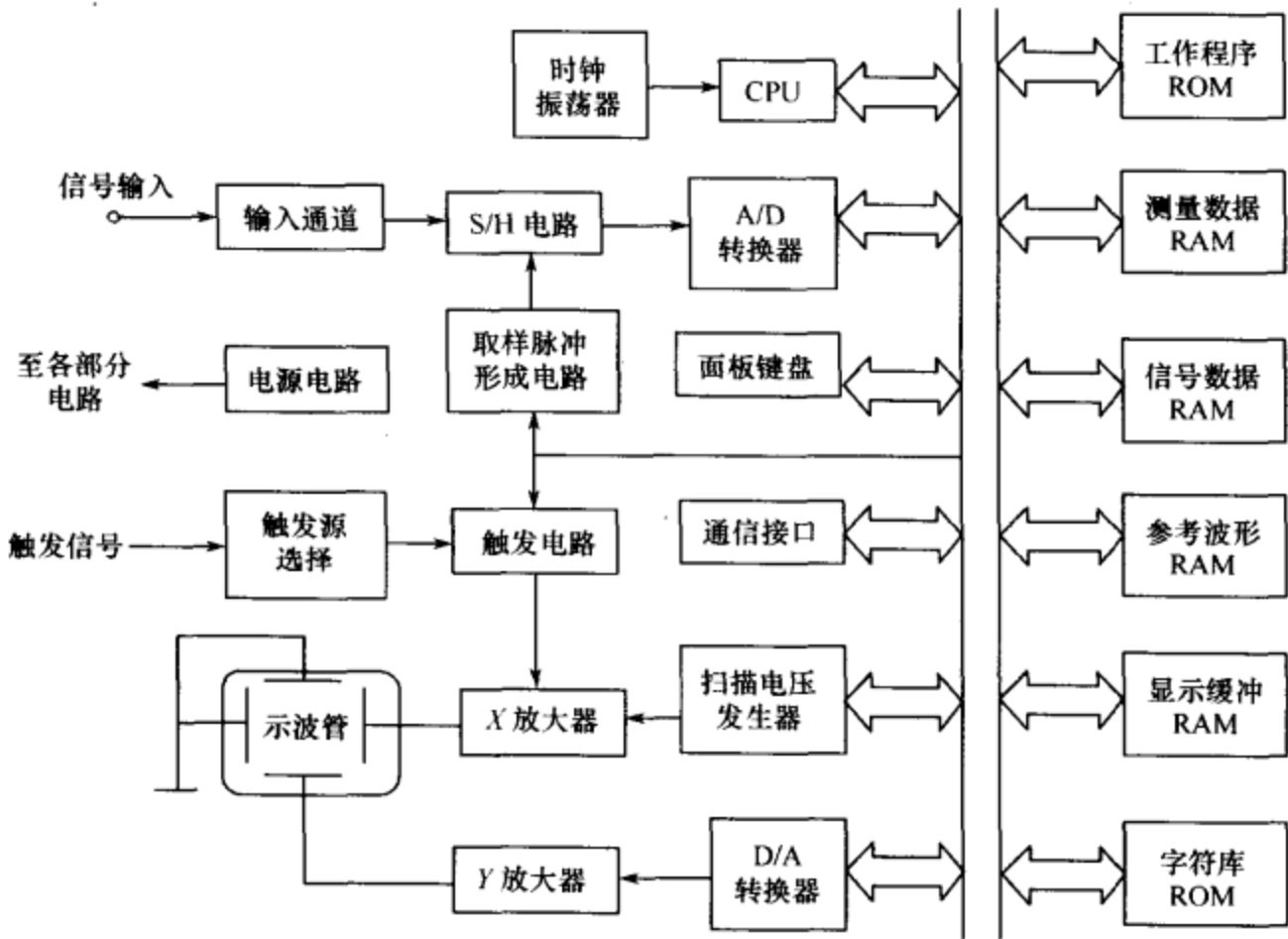


图 3-44 数字存储示波器的基本组成

1. 系统控制部分

系统控制部分由键盘、只读存储器(ROM),CPU 及 I/O 接口等组成。在 ROM 内写有仪器的管理程序,在管理程序的控制下,对键盘进行扫描,产生识别码,接受使用者的操作,以便设定输入灵敏度、扫描速度、读写速度等参数和各种测试功能。

2. 取样存储部分

取样存储部分主要由输入通道、取样保持电路、取样脉冲形成电路、A/D 转换器、信号数据存储器等组成。取样保持电路在取样脉冲的控制下,对被测信号进行取样,经 A/D 转换器变换成数字信号,然后存入信号数据存储器中。取样脉冲的形成受触发信号控制,

同时也受 CPU 控制。取样和存储过程如图 3-45 所示。

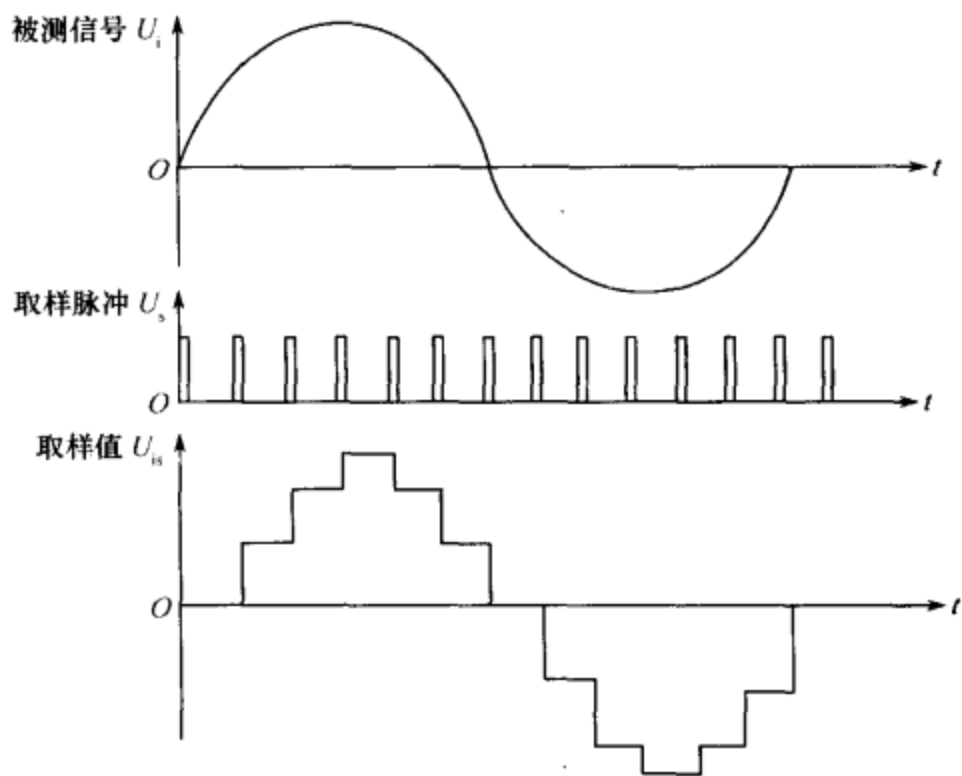


图 3-45 取样和存储过程

3. 读出显示部分

读出显示部分由显示缓冲存储器、D/A 转换器、扫描发生器、X 放大器、Y 放大器和示波管电路等组成。它在接到读命令后,先将存储在显示缓冲存储器中的数字信号送 D/A 转换器,将其重新恢复成模拟信号,经放大后送示波管,同时扫描发生器产生的扫描阶梯波电压把被测信号在水平方向展开,从而将信号波形显示在屏幕上。读出和显示过程如图 3-46 所示。

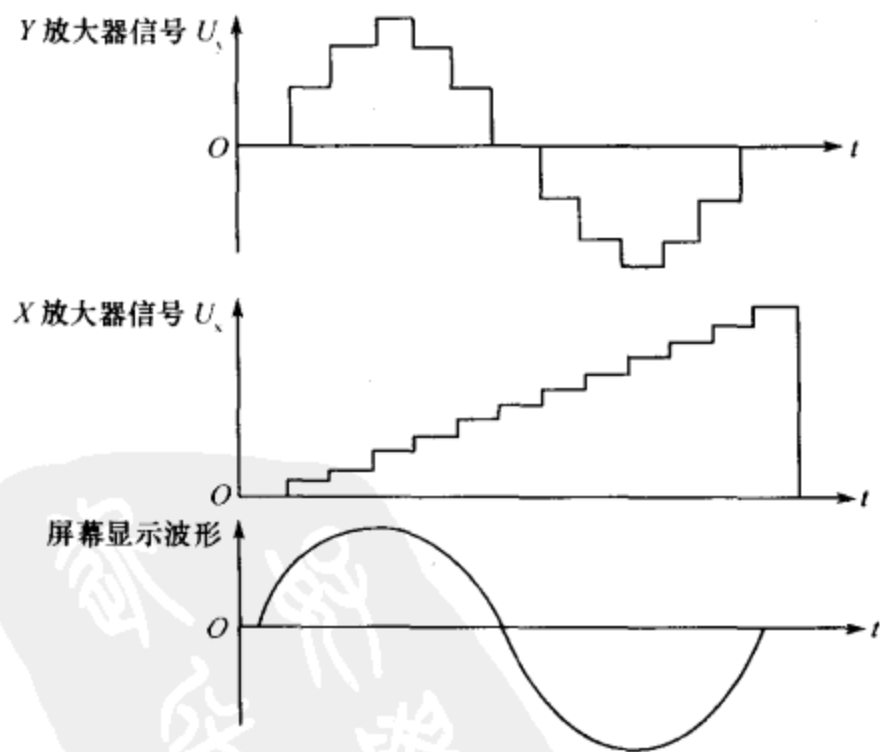


图 3-46 读出和显示过程

在数字存储示波器中,数据的写入和读出速度都是可以任意选择的,可以高速存入低速读出,也可以低速存入高速读出,使用上非常灵活方便。

四、数字存储示波器的显示方式

数字存储示波器利用内部微型计算机的控制功能和不同的存储方法,可实现多种灵活的波形显示方式,以适应不同波形的观测需要。而且在示波管显示波形的同时,还可显示相应的工作状态信息和测量数据。数字存储示波器通常有以下几种显示方式。

1. 存储显示方式

存储显示方式是数字存储示波器的基本显示方式,它适合于一般信号的观测。在一次触发形成并完成信号数据的存储之后,经过显示前的缓冲存储,并控制缓冲存储器的地址顺序,依次将欲显示的数据读出,进行 D/A 转换后,将其稳定地显示在示波管上。这样显示的波形是由一次触发捕捉到的信号片段,在这种方式下满足一次触发条件,屏幕上原来的波形就被新存储的波形更新一次。

2. 抹迹显示方式

抹迹显示方式适合于观测一长串波形中在一定条件下才会发生的瞬态信号。在该方式下,应先按照预期的瞬态信号设置触发电平和极性。观测开始后仪器工作在末端触发和预置触发相结合的方式下,当信号数据存储器被装满但瞬态信号未出现时,实现末端触发,在屏幕上显示一个画面,保持一段时间后,被新存入的数据更新,若瞬态信号仍未出现,再利用末端触发显示一个画面。这样一个一个画面地显示下去,像为了查找某个内容一页一页地翻书一样。一旦预期的瞬态信号出现,则立即实现预置触发,将捕捉到的瞬态信号波形稳定地显示在示波管上,并存入参考波形存储器中。

3. 卷动显示方式

卷动显示方式特别适合观测缓变信号中随机出现的突发信号,它又包括两种形式:一种是用新的波形逐渐代替旧的波形,变化点自左向右移动;另一种是波形从屏幕的右端推出向左移动,在左端消失。当异常波形出现时,可按下存储键,将此波形保存在屏幕上或存入参考波形存储器,以便作更细致的观测和分析。

当设定为该方式时,信号存储器在装满之后,将不停地移动所有数据,推出旧数据,存入新数据,并不断地把新数据移入显示缓冲存储器,加以适当的延迟后读出显示。

4. 放大显示方式

放大显示方式适合于观测信号波形的细节,此显示方式是利用延迟扫描方法实现的,此时屏幕一分为二,上半部显示原波形,下半部显示放大的部分,其放大位置可用光标控制,放大比例也可以调节,还可以用光标测量细节部分的参数。

5. X-Y 显示方式

X-Y 显示方式和通用示波器的显示方法基本相同,可用于显示李沙育图形,在此不作详细叙述。

五、数字存储示波器使用必须注意的问题

数字示波器因具有波形触发、存储、显示、测量、波形数据分析处理等特点,其使用日益普及。由于数字示波器与模拟示波器之间存在较大的性能差异,如果使用不当,会产生较大的测量误差,从而影响测试任务。

1. 区分模拟带宽和数字实时带宽

带宽是示波器最重要的指标之一。模拟示波器的带宽是一个固定的值,而数字示波器的带宽有模拟带宽和数字实时带宽两种。数字示波器对重复信号采用顺序采样或随机采样技术所能达到的最高带宽为示波器的数字实时带宽,数字实时带宽与最高数字化频率和波形重建技术因子 K 相关(数字实时带宽=最高数字化速率/ K),一般并不作为一项指标直接给出。从两种带宽的定义可以看出,模拟带宽只适合重复周期信号的测量,而数字实时带宽则同时适合重复信号和单次信号的测量。厂家声称的示波器的带宽能达到多少兆,实际上指的是模拟带宽,数字实时带宽是要低于这个值的。例如,TEK 公司的 TES520B 的带宽为 500MHz,实际上是指其模拟带宽为 500MHz,而最高数字实时带宽只能达到 400MHz,远低于模拟带宽。所以在测量单次信号时,一定要参考数字示波器的数字实时带宽,否则会给测量带来意想不到的误差。

2. 有关采样速率

采样速率也称为数字化速率,是指单位时间内,对模拟输入信号的采样次数,常以 MSa/s 表示。例如,采样速率为 40MSa/s,表示每秒采样数量为 40M 个。采样速率是数字示波器的一项重要指标。

1) 如果采样速率不够,容易出现混叠现象

如果示波器的输入信号为一个 100kHz 的正弦信号,示波器显示的信号频率却是 50kHz,这是怎么回事呢?这是因为示波器的采样速率太慢,产生了混叠现象。混叠就是屏幕上显示的波形频率低于信号的实际频率,或者即使示波器上的触发指示灯已经亮了,而显示的波形仍不稳定。那么,对于一个未知频率的波形,如何判断所显示的波形是否已经产生混叠呢?可以通过慢慢改变扫速 t/div 到较快的时基挡,看波形的频率参数是否急剧改变,如果是,说明波形混叠已经发生;或者晃动的波形在某个较快的时基挡稳定下来,也说明波形混叠已经发生。根据奈奎斯特定理,采样速率至少是信号高频成分的 3 倍才不会发生混叠,如一个 500MHz 的信号,至少需要 1GSa/s 的采样速率。有如下几种方法可以简单地防止混叠发生。

(1) 调整扫速。

(2) 采用自动设置(Autoset)。

(3) 试着将收集方式切换到包络方式或峰值检测方式,因为包络方式是在多个收集记录中寻找极值,而峰值检测方式则是在单个收集记录中寻找最大最小值,这两种方法都能检测到较快的信号变化。

(4) 如果示波器有 InstaVu 采集方式,可以选用。因为这种方式采集波形速度快,用这种方法显示的波形类似于用模拟示波器显示的波形。

2) 采样速率与 t/div 的关系

每台数字示波器的最大采样速率是一个定值。但是,在任意一个扫描时间 t/div ,采样速率 f_s 由下式给出,即 $f_s = N/(t/\text{div})$, N 为每格采样点。当采样点数 N 为一定值时, f_s 与 t/div 成反比,扫速越大,采样速率越低。

综上所述,使用数字示波器时,为了避免混叠,扫速挡最好置于扫速较快的位置。如果想要捕捉到瞬息即逝的毛刺,扫速挡则最好置于主扫速较慢的位置。

重点提示 随着计算机的普及,在测量领域掀起了一个虚拟仪器的旋风,在美国 NI

公司提出“软件就是仪器”的口号后,各种虚拟仪器应运而生,加之虚拟仪器价格便宜,功能全面,因此,虚拟仪器很快得到了广大电子爱好者的认可。例如,目前常见的一种基于PC机并口的虚拟仪器——FlashDSO II,FlashDSO II工作在Windows操作系统下,包含数字存储示波器、数字频谱分析仪等,具有丰富的信号分析方法和友好的交互界面,它含有7个频段,1-2-5进制,跨越视频、音频信号范围,配备了强大的数字信号处理(DSP)软件,可用来测量各种类型电信号,如视频信号、音频信号、计算机数字信号、单片机时序等,可以应用于家电维修及各种工业测量场合。



第四章 扫频仪、频谱分析仪和频率计

我们知道,用示波器可观察电信号的幅度随时间的变化规律,然而,有时需要了解电信号的频率成分及其变化规律,此时,示波器则无能为力,需要专门的仪器进行测量。本章主要介绍扫频仪、频谱分析仪和频率计这 3 种最为常见的频率测量和分析仪器。

第一节 扫频仪

扫频仪是频率特性测试仪的简称,是专门用来测量无线电设备中某些电路的频率特性的专用仪器,不仅可以测定电视机的公共通道、伴音通道、视频通道,雷达接收机的中频放大器、高频放大器,还能测定宽带放大器以及滤波器等无源和有源四端网络等。

一、扫频仪的主要组成

扫频仪是由扫频信号发生器和示波器组合而成的。扫频信号发生器是扫频仪的核心部分,它产生按一定规律变化的扫频信号。扫频仪的主要组成部分包括扫频信号发生器、频标信号发生器、扫描信号发生器、示波器、电源电路及配有检波器的同轴电缆等。图4-1 是 BT-3C 型扫频仪的主要组成部分方框图。图中的 $7 \times 10\text{dB}$ 表示每挡衰减 10dB,共有 7 个挡。

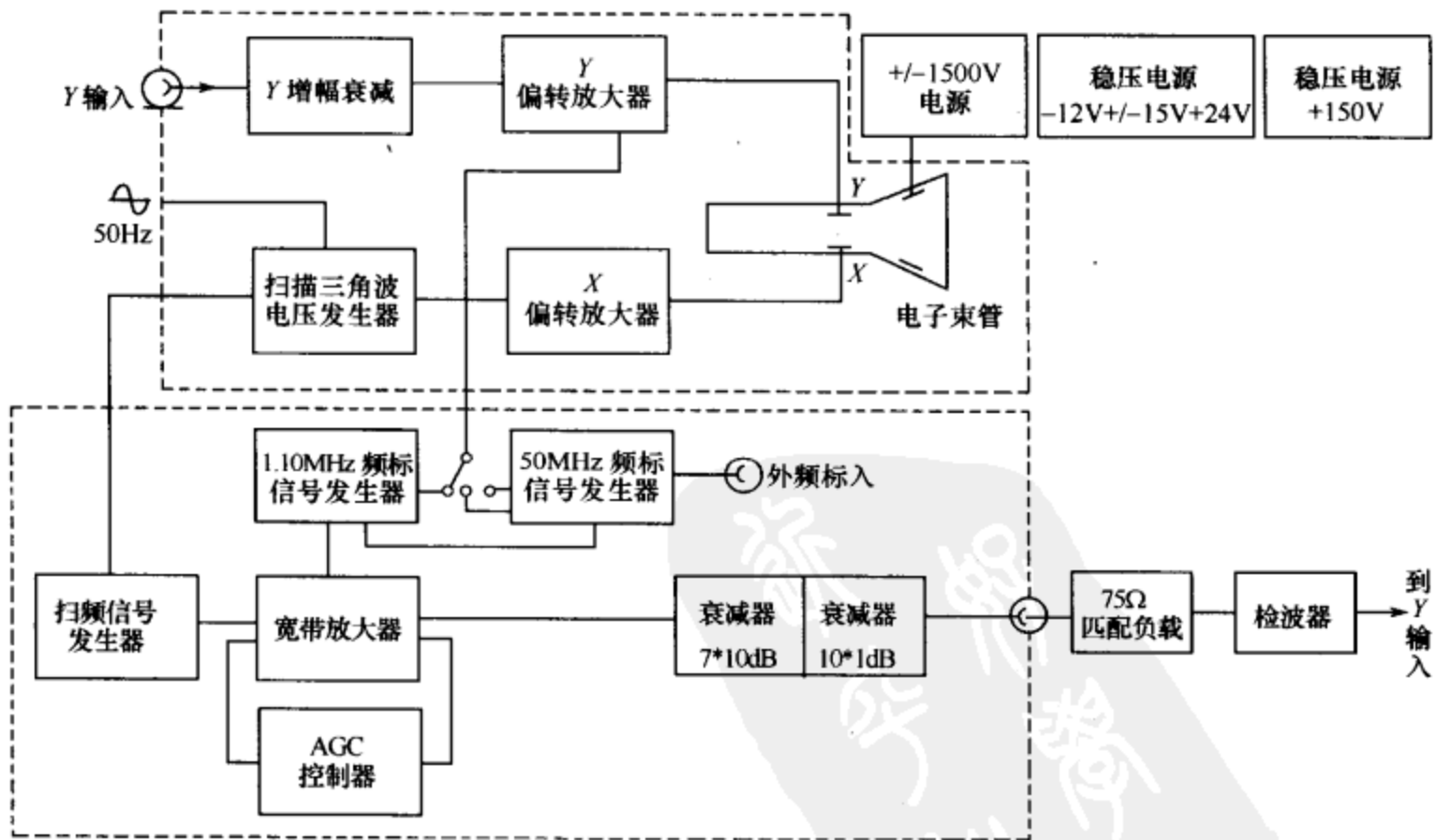


图 4-1 BT-3C 型扫频仪的组成框图

二、扫频仪的基本原理

1. 扫频信号的作用

扫频信号不同于音频信号和视频信号,也不同于一般的正弦波信号和脉冲信号,它是一种专门用来检测电路的频率特性,并在其频率范围内按一定规律不断变化其输出频率的信号。在扫频仪内部有一个产生扫频信号的发生器,把它产生的扫频信号输入到某放大器、鉴频器或吸收回路等电路中去的目的,就是为了检查这些电路的频率特性的。电路的频率特性的好坏是非常重要的,像收录机、电视机电路频率特性的好坏直接影响到声音、图像的质量,电路的这种“软故障”很难用万用表检测出来,用扫频信号来检测这类“软故障”非常有效,通过屏幕显示出电路的频率特性曲线,可方便地对电路进行调整和检测。

2. 扫频信号的频率范围

扫频信号的频率范围必须与被测电路的工作频率一致。例如,电视机中放电路放大的是从高频头送来的中频信号,其频率范围为 $29\text{MHz}\sim 39\text{MHz}$,这就是中放电路的工作频率。因此,用扫频仪检测该电路的频率特性时,输入到该电路的扫频信号的频率范围也必须为 $29\text{MHz}\sim 39\text{MHz}$,否则就显示不出曲线来。再如,在卫星电视接收机中,经变频后产生的第二中频频率约为 130MHz (中心频率)。因此,若用扫频仪检测其第二中频放大器的频率特性,就要向该放大器中输入中心频率为 130MHz 的扫频信号。扫频仪的频率范围越宽,表明它适用的范围越广、性能越好。例如,BT-3C 型扫频仪的频率范围(扫频信号)为 $1\text{MHz}\sim 300\text{MHz}$ 。

BT-3C 扫频仪可以用它来检测电视机高频头的 1 频道 \sim 12 频道中每一个频道的频率特性,因为 1 频道 \sim 12 频道的频率范围为 $48\text{MHz}\sim 223\text{MHz}$;但 BT-3C 型扫频仪就不能测 12 频道以后的频道的频率特性了,因为第 13 频道的频率范围就高达 $470\text{MHz}\sim 478\text{MHz}$,超过了 BT-3C 型扫频仪扫频信号的最高频率(300MHz)。

3. 频率特性曲线的显示

因为扫频仪可以看做是扫频信号发生器和示波器组合而成的,所以其显示部分基本上与示波器相同,显示电路的频率特性曲线不像用示波器显示信号的波形那么简单,被测电路的频率特性曲线在扫频仪的屏幕上显示出来的大体过程如下。

(1)在 X 轴上加扫描电压,经调整后可出现一条水平亮线,这是扫描基线(时基线),如图 4-2(a)所示的 m 线。

(2)将从扫频仪输出的扫频信号通过电缆线送到扫频仪的 Y 轴输入端,在屏幕上又显示出一条与扫描基线平行的线,这条线叫扫频线,如图 4-2(b)所示的 n 线。

(3)屏幕上显示出扫频线是为显示被测电路的频率特性曲线打基础的。要显示电路的曲线就得先显示出与它对应的扫频线。例如,要显示某电视机中放电路的频率特性曲线,就要先将频率范围为 $29\text{MHz}\sim 39\text{MHz}$ 的扫频信号调出来,而调这个频率范围的扫频信号必须借助于“扫频线”才能调出来;在调好了与频率范围为 $29\text{MHz}\sim 39\text{MHz}$ 的扫频信号对应的扫频线的基础上,再将这个扫频信号输送到电视机中放电路的输入端,在中放电路的输出端用带检波二极管的电缆线接到扫频仪的“Y 轴输入”端,经调整后在屏幕上就会出现中放电路的频率特性曲线,如图 4-2(c)所示。

由此可以看出,扫频仪之所以能够显示出被测电路的频率特性曲线,是扫频信号与示

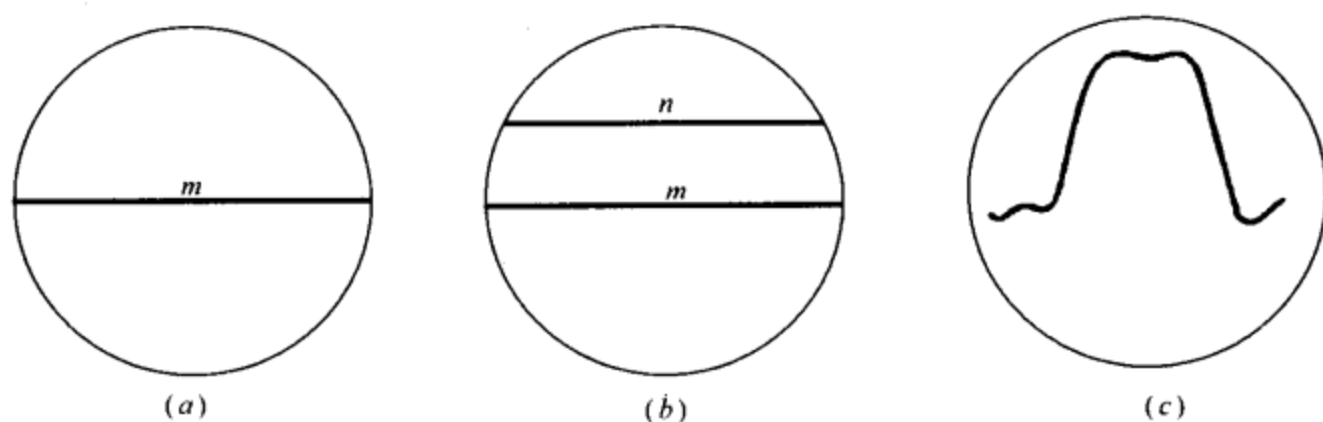


图 4-2 屏幕上显示的内容

波器共同作用的结果,这也就是扫频仪的基本工作原理。

4. 频标的作用

扫频仪内部有个“频标信号发生器”产生频标信号。频标就是落在扫频线或曲线上的某点所对应的频率标记。频标有菱形的和针形的,常用的是菱形的。图 4-3 所示是落在扫频线上的菱形频标。频标的幅度可以调大或调小,也可以调到完全消失。频标的作用主要有以下 3 点。

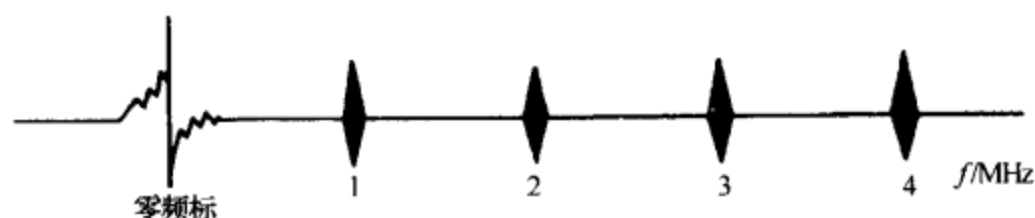


图 4-3 扫频仪上的菱形频标

(1)用频标来选择扫频信号的频率范围。例如,要观察电视机中放电路的频率特性曲线,就要选出频率范围为 $29\text{MHz}\sim 39\text{MHz}$ 的扫频信号,选择频率范围时,先找到“零频标”(符号的形状特殊),再以零频标为准,将频率为 $29\text{MHz}\sim 39\text{MHz}$ 的扫频信号所对应的扫频线调出来,如图 4-4(a)所示。

(2)用频标来对曲线进行分析,只有借助频标才能分析电路的频率特性曲线是否符合设计要求。例如,电视机中放电路的频率特性曲线上,与频率为 38MHz 对应的那个点所对应的增益(Y轴)是多少?是不是最高增益的 50% ? 如果没有频标,就不知道曲线上哪个点对应的频率为 38MHz ,就无法进行具体分析,如图 4-4(b)所示。

(3)频标对调试电路起指示作用。如果通过对曲线的分析发现曲线不符合设计要求,就说明电路没有调好,这时就可以借助频标在曲线上的位置的指示,对电路进行调整,直至将曲线调到符合设计要求的形状,就表明电路调好了。若没有频标在曲线上的指示,就无法对曲线进行正确的调整。

三、BT-3C 扫频仪的使用

1. 功能操作说明

BT-3C 扫频仪前面板图如图 4-5 所示。

下面按图中标序号一一加以说明。

(1)辉度调节带电源开关。按顺时针方向转动,即可打开电源开关,接通仪器电源,同时转动旋钮,还可调节光点辉度。

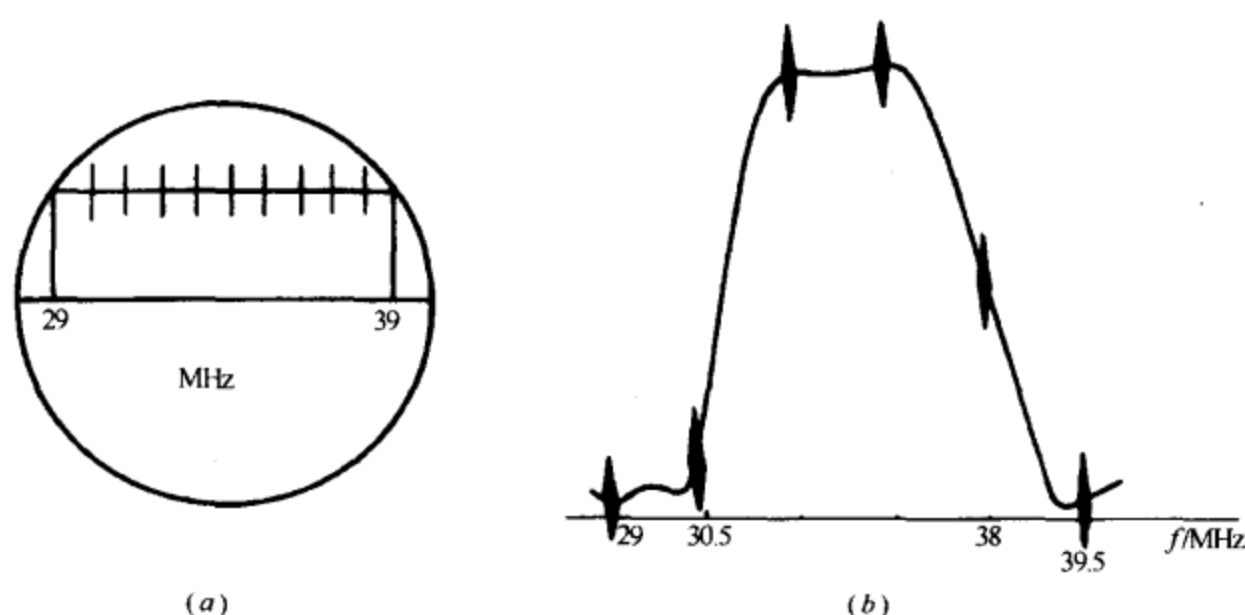


图 4-4 频标的作用
(a)选出某一频段的扫频信号；(b)时曲线进行分析。

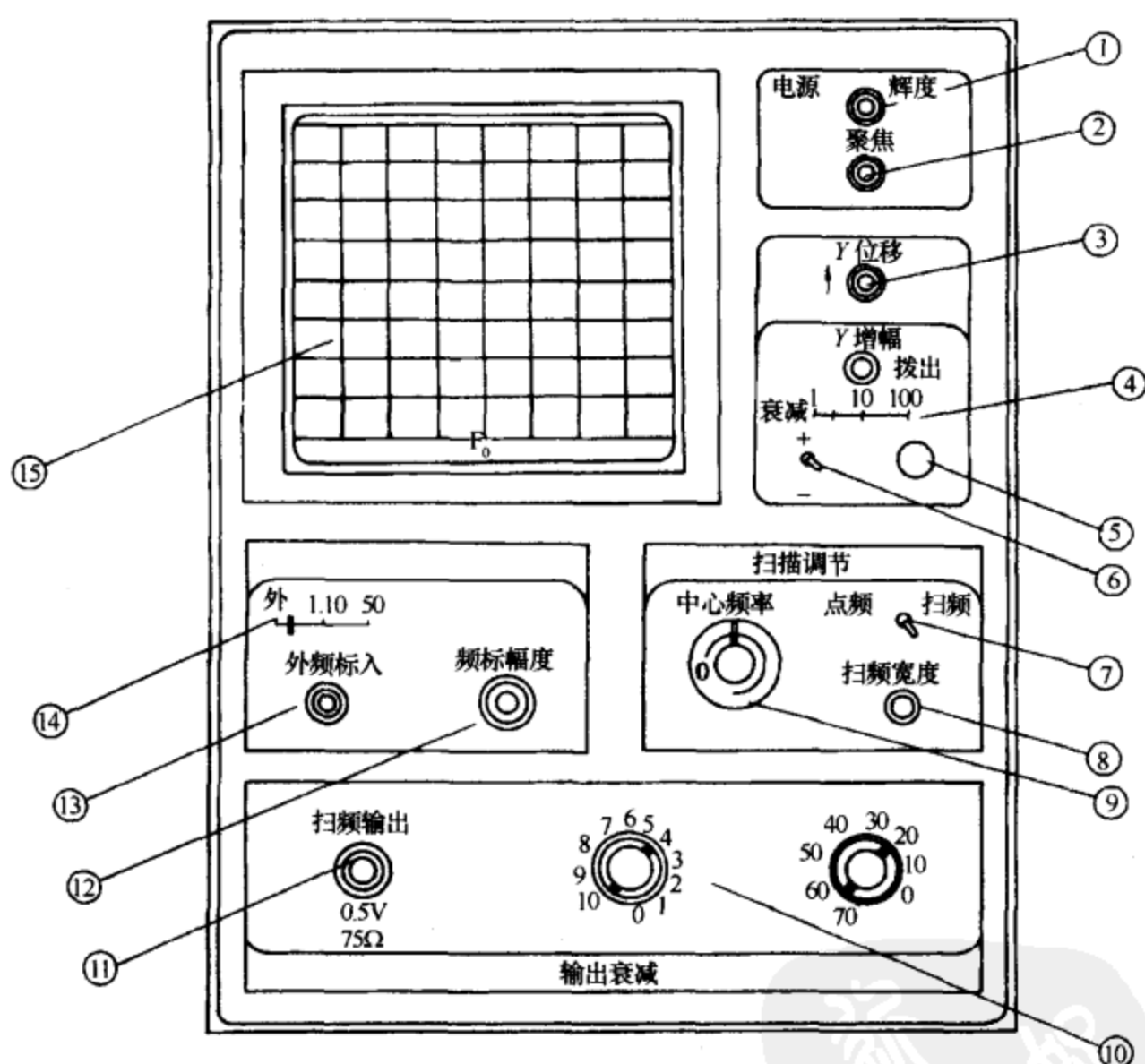


图 4-5 BT-3C 扫频仪前面板图

(2)聚焦调节。可使光点达到最清晰。

(3)Y 轴位移。调节迹线在垂直方向位移。

(4)Y 轴增幅。顺时针调节 Y 轴幅度增大；拔出时为直流(DC)，可使直流输入不经隔直电容，直接加至 Y 轴放大器。

Y 轴增幅下方为衰减选择开关，有 1、10、100 3 挡，与 Y 轴增幅旋钮配合使用，可对波

形幅度进行调节。

(5)Y 轴输入插座。可输入被测电路取出的检测信号。

(6)极性转换开关。置“+”时,显示正方向的幅频特性;置“-”时,显示负方向的幅频特性。

(7)扫频/点频选择开关。当扫频工作时,仪器输出扫频信号;点频工作时,仪器输出与扫频频率相应的点频信号。

(8)扫频宽度。可对波形宽度进行调节。

(9)中心频率。扫寻被测波形中心频率点。

(10)输出衰减。输出衰减有两个调节旋钮,右边旋钮的为输出粗衰减,每挡衰减 10dB,共有 7 个挡级,可对输出扫频信号电压的幅度进行粗衰减,左边旋钮的为输出细衰减,每挡衰减 1dB,共有 10 个挡级,可对输出扫频信号电压的幅度进行细衰减。

(11)扫频输出。扫频信号的输出端。

(12)频标幅度。可对频标信号的幅度进行调节。

(13)外频标入。外接频标输入端,此时频标选择开关应置于外接挡。

(14)频标选择。有 3 挡,即外频标、“1MHz、10MHz”组合频标、50MHz 频标。当选择开关拨向 1MHz、10MHz 或 50MHz,此时扫描基线上呈现频标信号。

(15)显示屏。用以显示被测网络的各种幅频特性曲线。

2. 仪器的使用方法

1) 电缆的选用

本仪器配有 4 种电缆线,如图 4-6 所示。应视被测电路情况加以选用。

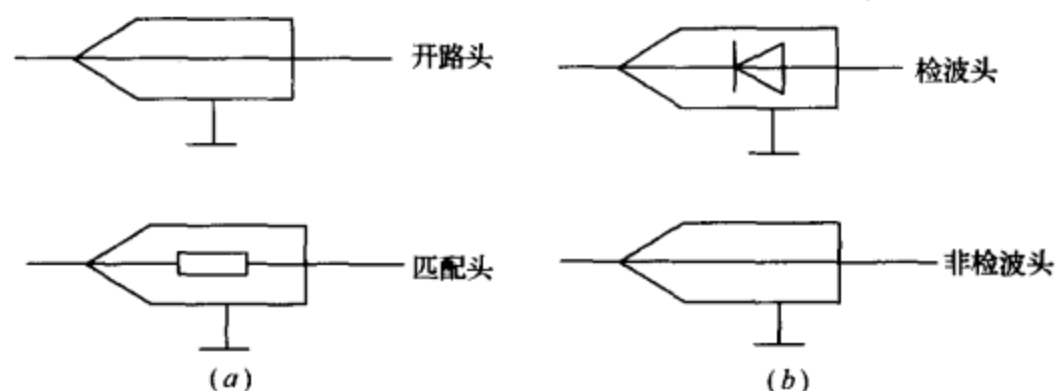


图 4-6 扫频仪的 4 个探头

(a)输出探头;(b)输入探头。

(1)匹配电缆。也称匹配头,内部装有一只 75Ω 的匹配电阻(对地)。主要用于扫描电压的输出端,对被测电路的输入、输出信号作高阻抗检测,也可兼作扫频仪的外部负载。用于输入、输出为高阻抗的被测电路。

(2)连接电缆。也称开路头,用于输入、输出为低阻抗的被测电路。

(3)检波输入电缆。也称检波探头,内部装有检波二极管、隔离电阻和隔直电容,只能用于无检波性能的被测电路作 Y 轴放大。对于有检波性能的被测电路应采用开路探头。

(4)输入电缆。也称无检波探头,内部未装任何元器件,用于被测电路已经过检波器检波的场合。

2) 频标的识别

(1)将频标选择置于“1MHz、10MHz”位置,中心频率转至起始位置,此时屏幕中心处

出现不同于普通菱形频标的特殊标志,称作为零频标。

(2)顺时针转动中心频率,屏幕上的扫描基线随同频标逐渐左移,此时每个小频标为1MHz标志,每个大频标为10MHz标志。

(3)将频标选择拨向50MHz位置,此时第一个频标应与原50MHz频标重合,称作为固定50MHz频标。

3)0dB的校准

先将输出粗、细衰减旋钮均置于0dB处,Y轴衰减置于1;再把匹配头和检波探头电缆线连在一起;然后调节Y轴增幅旋钮,使扫描基线和扫频信号线之间的距离为刻度的整数,一般5格为宜;并记下Y轴增幅旋钮的位置,该位置为衰减开关的标称值,称为准确值。

4)增益的识读

在测试过程中,调节两个输出衰减旋钮,使显示的幅频特性曲线正好为5格,这时标称值的和即为增益的dB值。

四、BT-8 扫频仪的使用

前面介绍的BT-3扫频仪的扫频范围为1MHz~300MHz,下面再介绍一种扫频范围更宽的BT-8扫频仪,其扫频范围为1MHz~800MHz;在VHF频段,中心频率可在1MHz~300MHz内连续可调;在UHF频段,中心频率可在450MHz~800MHz内连续可调。它不仅可用来检测黑白电视机及彩电高频调谐器(高频头)、图像通道(中放电路)的频率特性、调试电视伴音鉴频曲线和视频放大特性曲线,还可用来测试各种无线电的有源、无源四端网络以及其他接收设备的高频放大器、带宽放大器、滤波器、陷波器的幅频特性或中心频率点。

1. 功能操作说明

BT-8扫频仪的面板结构如图4-7所示。

(1)电源开关兼辉度调节钮。根据所标箭头方向,向右即可打开电源开关,然后即可调节扫描线的辉度或亮度,便于观察。

(2)聚焦调节钮。通过左右来回旋转,可调节扫描线的聚集,使扫描线清晰可见。

(3)亮度调节钮。用来调节屏示座标尺的亮度,便于暗室或夜间测试,白天可关闭。

(4)Y轴位移调节钮。通过旋钮来回调节,可使曲线在垂直方向左右移动。

(5)Y轴衰减选择挡。共分有 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 3挡选择,达到改变Y轴增益与波形的高度。

(6)Y轴增益调节钮。与Y轴衰减选择挡配合使用,适当调节Y轴的增益和波形的高度,即可对波形的幅度进行校正。

(7)Y轴输入插孔。被测电路的输出检测信号由该端口输入。

(8)影像极性转换开关。可用来检测鉴频S曲线的正峰或负峰。测试时,将“影像极性”开关作“+”、“-”转换,即能较好地观察鉴频曲线的全部形状,以利于纠正波形的严重失真。

(9)中心频率调节刻度盘。用以UHF频段调节输出波形的扫频中心频率点(0MHz~800MHz范围内连续可调)。

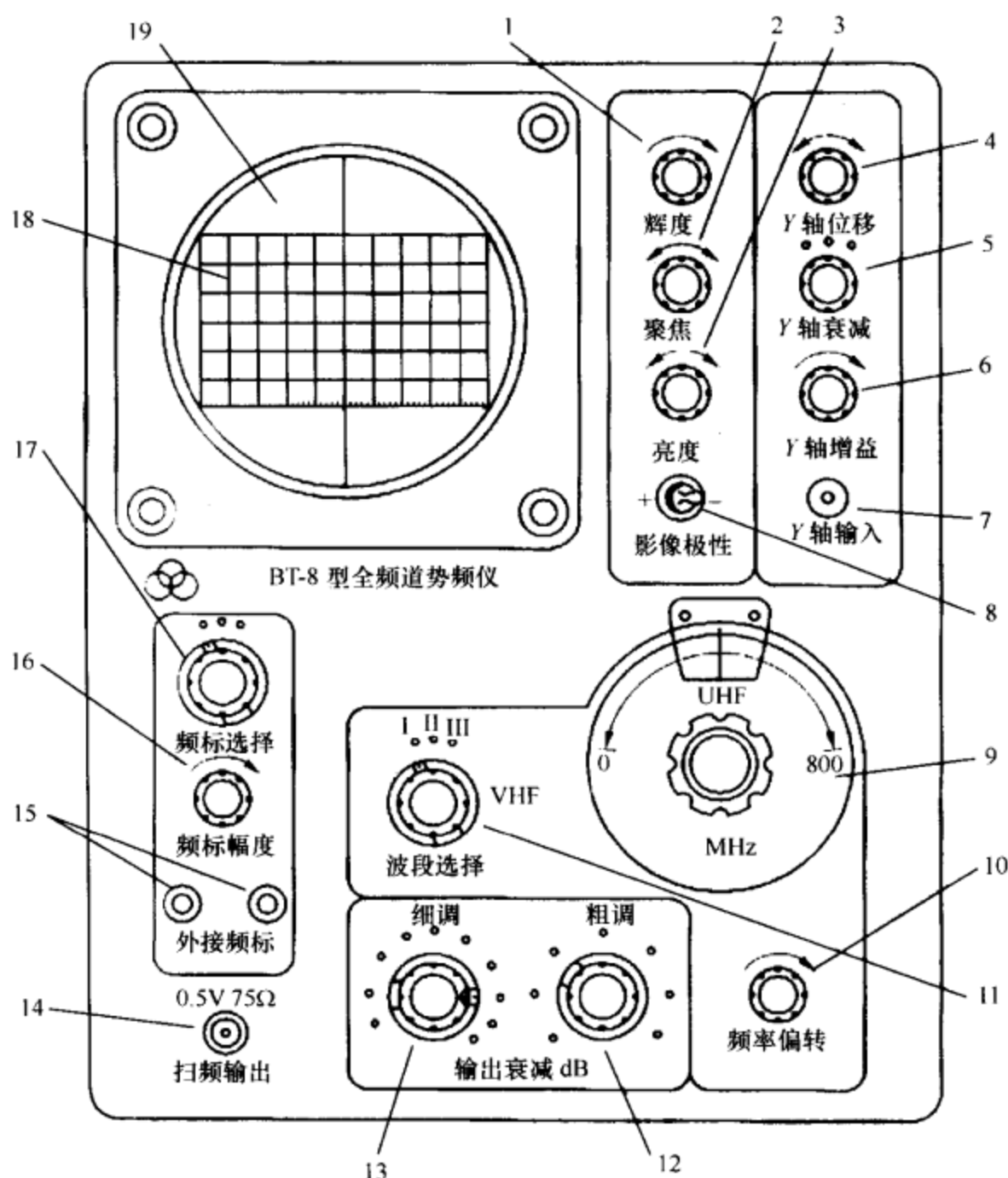


图 4-7 BT-8 扫频仪的面板

(10)频率偏转调节钮。用以调节输出波形扫频信号的频偏宽度。

(11)波段选择开关。用以改变和选择 VHF 频段输出扫频信号的中心频率范围的分段检测,分为 I (75MHz)、II (75MHz~150MHz)、III (150MHz~300MHz)3 挡。

(12)输出衰减(粗调)选择。共分为 10dB~70dB 7 个挡级,每挡衰减 10dB,可对输出扫频信号电压的幅度进行粗调衰减选择。

(13)输出衰减(细调)选择。共分为 1dB~10dB 10 个挡级,每挡衰减 1dB,可对输出扫频信号电压的幅度进行细调衰减选择。

(14)扫频输出端。可从该端子输出扫频电压信号 0.5V 至有关被测电偏的端口,输出阻抗为 75Ω。

(15)外频标插孔。当频标选择开关置于外频标挡时,可将外频标信号从此插孔中输入。

(16)频标幅度调节钮。用以调节频标信号的幅度,并在屏幕上显示,便于观察和修正。

(17)频标选择转换挡。与其他扫频仪相比,扫频范围拓宽,共有 1MHz、10MHz、新增 50Hz 3 挡提供频标选择,可使频率扫描基线显示频标信号。

(18)显示屏幕。作为坐标刻度的显示屏,便于观察计量坐标刻度上的显示线和波形。

(19)示波管。用于产生扫描辉点,以形成和显示扫描基线、信号线和各种波形。

2. 仪器的检查

如果经常使用扫频仪,可定期对仪器进行安全检查和校准,没有必要每次使用前都作详细检查,只需要作些主要部分的检查即可。

(1)探头的检查。输入和输出探头的中心测试芯线不能与屏蔽网线或外壳短路,可用万用表检测,否则将导致无信号输入、输出;测试时应保证探头的屏蔽层与被测电路的公共地端有良好接触,否则将无法进行测试。

(2)扫描基线的检查。打开电源开关,使仪器预热 3min 左右;调节“Y 轴位移”旋钮,直至屏幕中央显示一条水平扫描基线;再通过“辉度”和“聚焦”旋钮的配合调节,可使扫描基线达到良好的清晰度。

(3)扫频信号的检查。按照操作方法,将检波探头与匹配头对接起来,通过调节“Y 轴衰减”和“Y 轴增益”,可在屏幕上显示两条平行线,一条为扫描基线,一条为扫频线,两者之间的坐标尺距离为 4 格。可采取从 10MHz 频段起,逐个频段来检查扫频信号的输出幅度。

(4)频标的检查。首先将粗调和细调“输出衰减”选择钮分别置于 0dB 挡;然后使用检波探头与匹配探头对接起来,即可在屏幕上呈现两条平行线,即下面一条为扫描基线,上面一条为扫频线;将“频标选择”开关置于 1MHz 挡,调节“频标幅度”,这时频标变窄,即两个频标间为 1MHz;再将“频标选择”开关置于 10MHz 挡,调节“频标幅度”,这时频标变宽,即两个频标间为 10MHz。

五、扫频仪的应用

1. 电视机用高频调谐器 2 频道的测试

高频调谐器简称高频头,它与仪器的连接方法如图 4-8 所示。高频头的工作电压 +12V 及自动增益控制(AGC)的 +3V 电源由仪器后面板上的有关接线柱提供。测试时,将高频头调到 2 频道,因为 2 频道的频率范围为 56.5MHz~64.5MHz;调“中心频率”度盘,使 60MHz 位于扫频线上屏幕坐标的中心线处(频标指示);将“输出衰减”置于 30dB 左右。

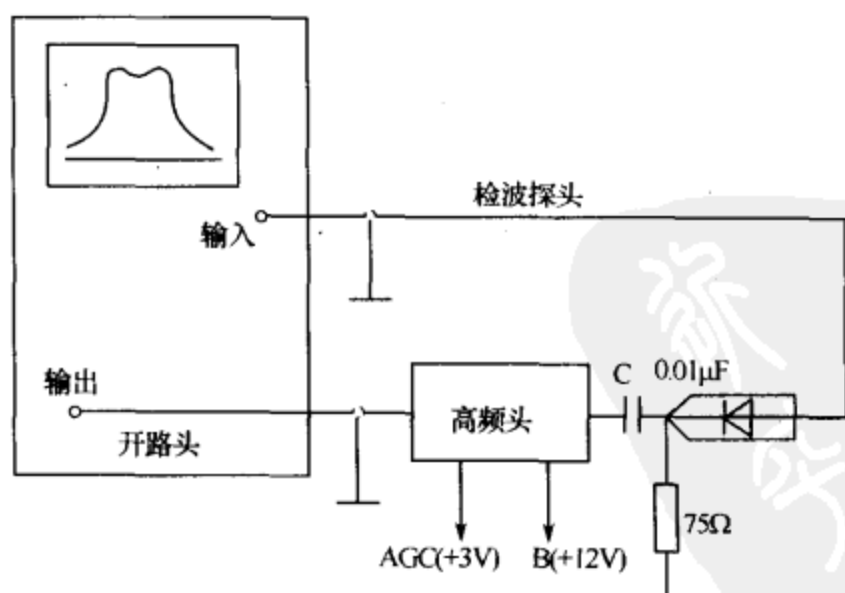


图 4-8 高频头总曲线测试连接图

如果所有的接线正确、扫频线调整正确,并且高频头拨的频道也是正确的,屏幕上就会显示出如图 4-9 所示的曲线。

应当注意的是,该曲线所对应的频率并不是从扫频仪的“扫频输出”端输出的 55MHz~65MHz,因为这个频率范围经过高频头内部的混频器后,已变成中频了,在 26MHz~40MHz。为什么开始调扫频线的时候,要把扫频线对应的频率调成 55MHz~65MHz,而不调成 26MHz~40MHz 呢? 因为要测的是高频头 2 频道的总曲线,2 频道对应的要接收的射频频率范围为 56MHz~64.5MHz,所以要借助于扫频线和频标,让扫频仪从“扫频输出”中输出接近 2 频道频率,并比它还宽的 55MHz~65MHz 的扫频信号来,再把它送到高频头的输入端。

BT-3C 型扫频仪可以观测电视机 VHF 频段中每个频道的总曲线,因为第 12 频道的最高接收频率为 223MHz,而 BT-3C 型扫频仪的扫频信号高达 300MHz。在维修高频头中,若怀疑哪个频道有问题,就可以按上述方法观测一下它的总曲线。

2. 图像中放的测试

从仪器的输出端通过连接电缆(开路头)接到图像通道集中滤波器的输入端;从图像预视放发射极引出,经输入电缆(不用检波头)到仪器的输入端,其连接方法如图 4-10 所示。

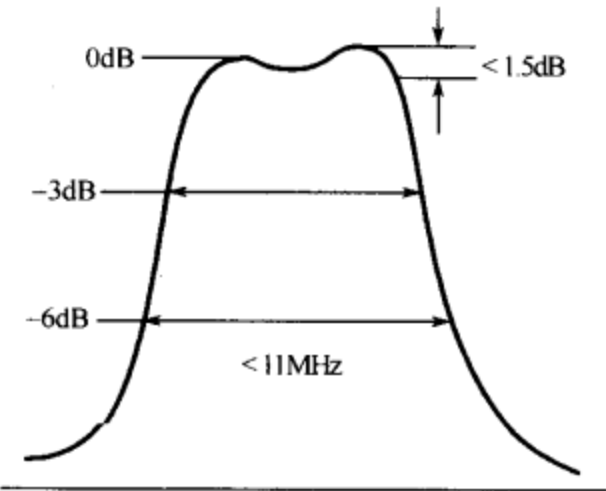


图 4-9 高频头总曲线

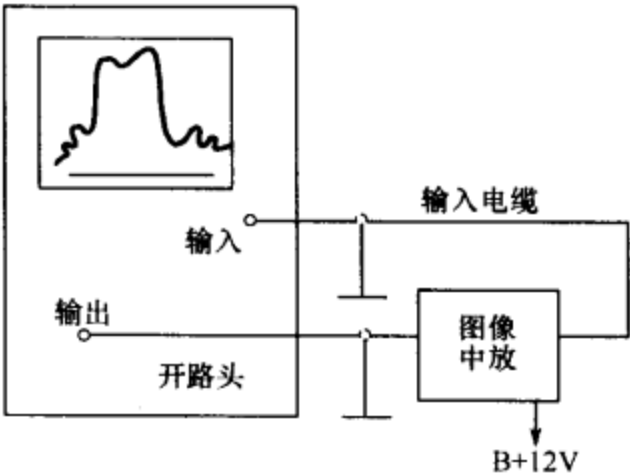


图 4-10 电视机中放曲线连接示意图

先将“输出衰减”置于 50dB,这是因为图像中放的增益高达近 70dB,若不事先将输出扫频信号进行较大衰减,曲线就大大超出屏幕范围。按图 4-10 接好线后,屏幕上将出现如图 4-11 所示的中放曲线。

调“输出衰减”,让曲线的幅度为 5 格(相当于 0dB),这时“输出衰减”所指示的分贝数就是中放级的增益,约为 65dB±5dB。

观察曲线在 38MHz 处的增益,要实际测量,看是否约为最大增益的 50%(-6dB)。

观察曲线在 31.5MHz 处的增益是否为最大增益的 5%。

如频率特性曲线不符合要求,可通过调整中频变压器与集中滤波器的磁芯加以调整,若增益仍然不够或存在其他故障,则应先排除通道电路的有关故障,否则无法测试。

3. 伴音鉴频特性曲线的调试

将 BT-3C 的扫频输出端用开路电缆接到预视放基极测试点上,“Y 轴输入”用不带检波器的电缆接到伴音中放输出端。粗、细调衰减均置于 0dB,Y 轴增益适当,从而保证伴音中放对输入信号幅度的要求;然后,分别调整伴音中放各中频变压器,使曲线呈现图 4-12 所示的形状。

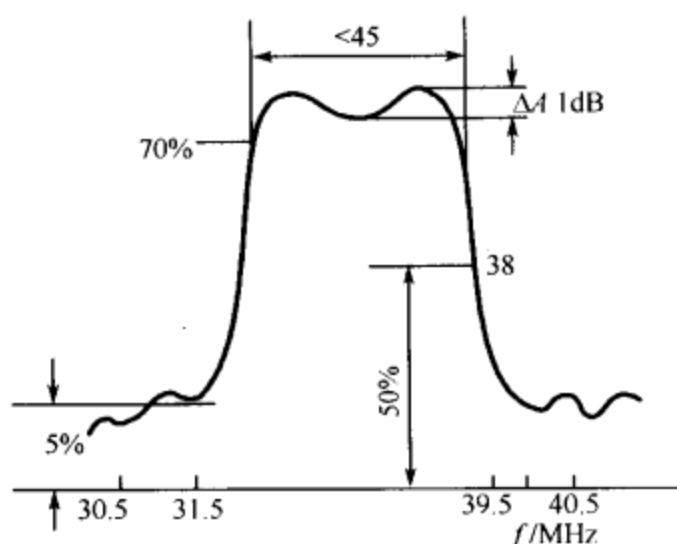


图 4-11 中放曲线

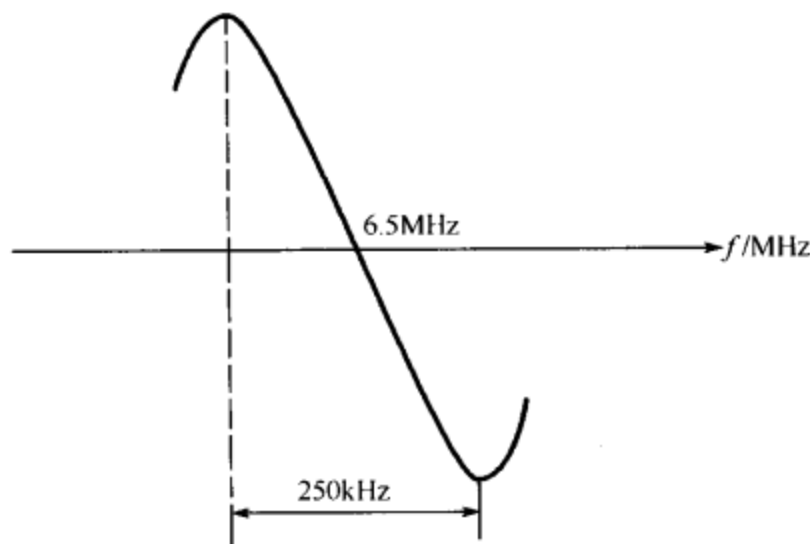


图 4-12 鉴频特性曲线

第二节 频谱分析仪

频谱分析仪在国外被当做频域中的“射频万用表”，可见它的重要性及应用泛围之广。由于对其认识不够及价格较高等问题，在国内，频谱仪一直主要应用在军事、国防及科研等高层面，是一个神秘、高档的仪器。随着通信的发展和普及，在通信、研究、生产、维修等方面对频谱分析仪需求越来越迫切，应用也更普及。

生产频谱分析仪的厂家不多。我们通常所知的频谱分析仪有惠普（现在惠普的测试设备分离出来，为安捷伦）、马可尼、惠美以及国产的安泰信。相比之下，惠普的频谱分析仪性能最好，但其价格也相当可观，早期惠美的 5010 频谱分析仪比较便宜，国产的安泰 AT5010 频谱分析仪的功能与惠美的 5010 差不多，其价格却便宜得多。下面以国产安泰 AT5010 频谱分析仪为例进行介绍。

一、频谱分析仪的特点和性能指标

1. 安泰 AT5010 频谱分析仪的特点

1) 高灵敏度

安泰 AT5010 频谱分析仪最低能测到 $2.24\mu\text{V}$ ，即 -100dBm 。一般示波器到 1mV ，频率计要在 20mV 以上，跟频谱仪比相差 10000 倍。用频率计测频率时，有的频率点测量很难，频率数字显示不稳定，甚至测不出来。这主要是频率计灵敏度低造成的，即信号低于 20mV 频率计就无能为力了。用示波器测量时，信号 5% 失真示波器看不出来，在频谱仪上万分之一的失真都能看出来。由于频谱仪的高灵敏度，测量时要注意被测信号的幅度范围应控制在 $2.24\mu\text{V}\sim 1\text{V}$ ，超过该范围应另加相应的衰减器。

2) 频率高、频带宽

安泰 AT5010 频谱分析仪频率范围在 $0.15\text{MHz}\sim 1000\text{M}(1\text{G})\text{Hz}$ 内，还有 3GHz 、 8GHz 、 12GHz 等其他系列产品，一般示波器在 100MHz 之内，而且价格非常昂贵。

3) 频率、幅度测量及对比特性

安泰 AT5010 频谱分析仪可同时测量多种（理论上是无数个）频率及幅度，Y 轴表示幅度，X 轴表示频率。因此，能直观地对信号的组成进行频率幅度和信号比较，这种对比

性的测量,示波器和频率计是无法完成的。

2. 安泰 AT5010 频谱分析仪性能指标

1) 频率

频率范围:0.15MHz~1050MHz

中心频率显示精度:±100kHz

频率显示分辨力:100kHz

扫频宽度:100kHz/格~100MHz/格

中频带宽(−3dB):400kHz 和 20kHz

扫描速度:43Hz

2) 幅度

幅度范围:−100dBm~+13dBm

屏幕显示范围:80dBm(10dB/格)

参考电平:−27dBm~13dBm(每级 10dB)

参考电平精度:±2dB

平均噪声电平:−99dBm

3) 输入。

输入阻抗:50Ω

插座:BNC

衰减器:0dB~40dB

输入衰减精度:±1dBm

最大输入电平:+10dBm、+25V(DC)

(1)分贝。分贝(dB)是增益的一种电量单位,常用来表示放大器的放大能力、衰减量等,表示的是一个相对量,分贝对功率、电压、电流的定义如下,即

$$\text{分贝数} = 10 \lg \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}} (\text{dB})$$

$$\text{分贝数} = 20 \lg \frac{\text{输出电压}}{\text{输入电压}} (\text{dB})$$

$$\text{分贝数} = 20 \lg \frac{\text{输出电流}}{\text{输入电流}} (\text{dB})$$

例如,A 功率比 B 功率大一倍,那么, $10 \lg A/B = 10 \lg 2 = 3 \text{dB}$,也就是说,A 功率比 B 功率大 3dB。

(2)分贝毫瓦。分贝毫瓦(dBm)是一个表示功率绝对值的单位,计算公式为

$$\text{分贝毫瓦} = 10 \lg \frac{\text{输出功率}}{1 \text{mW}} (\text{dBm})$$

例如,如果发射功率为 1mW,则按 dBm 进行折算后应为 $10 \lg 1 \text{mW}/1 \text{mW} = 0 \text{dBm}$ 。如果发射功率为 40mW,则 $10 \lg 40 \text{W}/1 \text{mW} = 46 \text{dBm}$ 。

二、频谱分析仪的工作原理

1. 基本工作原理

频谱分析仪的主要组成框图如图 4-13(a)所示。

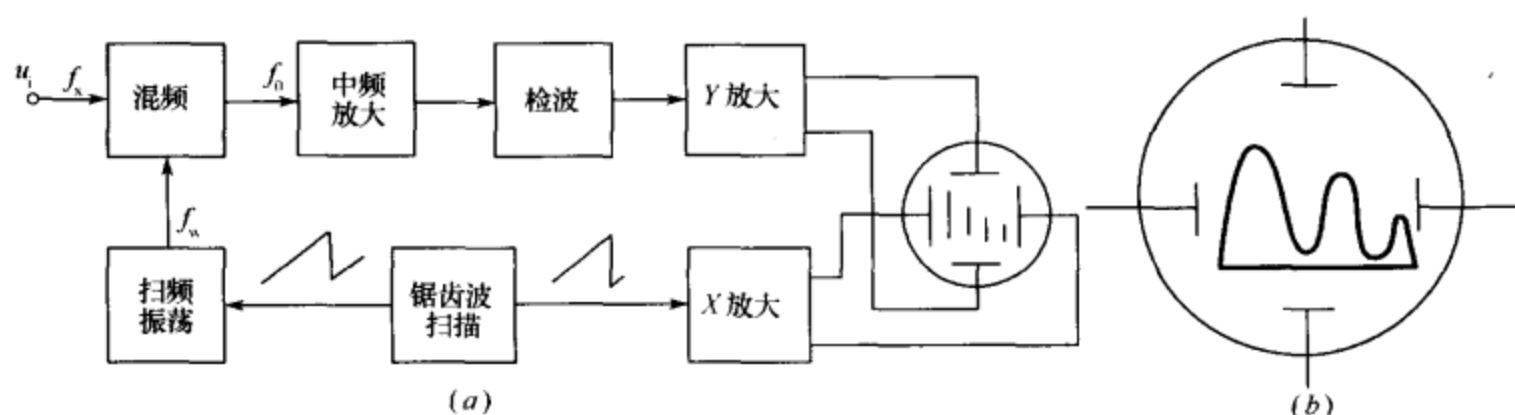


图 4-13 频谱分析仪的主要组成

(a) 电路原理框图; (b) 幅—频特性曲线。

从图中可以看出, 频谱分析仪主要由接收机和示波器组成。

频谱仪是按外差方法来选择所需频率分量的, 这种方法的特点是中频固定, 只要改变本机振荡器频率即能达到选频目的。这和超外差收音机原理是相同的。

图中扫频振荡器是仪器的内部振荡源, 它受锯齿波扫描电压调制, 当扫频振荡器的频率 f_w 在一定范围内变化时, 输入信号中的各频率分量 f_x 与扫描振荡器的频率 f_w 在混频器中产生差频信号 ($f_0 = f_w - f_x$), 并依次落入中放通带内 (这个通带是固定的, 这里的中频放大器相当于固定通带滤波器) 获得中频增益, 经检波后加到 Y 放大器, 使亮点在屏上的垂直偏移正比于该频率分量的幅值。

由于扫描电压在调制扫频振荡器的同时, 又驱动 X 放大器, 从而可以在屏幕上显示出被测信号的线性频谱图。应该注意的是, 在屏幕上看到的并非是一条理想的谱线。因为利用外差接收法并对本机振荡器进行扫频, 可看做窄带滤波器的滤波特性曲线以扫频速度依次扫过各个频率分量。由于窄带滤波器总有一定通带宽度, 故在屏幕上看到的谱线实际上是一个窄带滤波器的动态幅频特性曲线图形, 如图 4-13(b) 所示。

为了获得较高的灵敏度和频率分辨力, 在实际频谱仪中常采用多次变频的方法, 以便在几个中间频率上进行电压放大。

2. 安泰 AT5010 频谱分析仪工作过程

安泰 AT5010 频谱仪可以检出频率范围为 0.15MHz~1050MHz 的电气信号的频谱分量, 频谱仪是一个 3 次变频的扫频超外差接收机。被测信号 ($f_x = 0.15\text{MHz} \sim 1050\text{MHz}$) 加到第一混频器, 在其内与一个压控振荡器 ($f_w = 1350\text{MHz} \sim 2350\text{MHz}$) 来的信号电压混频。这一振荡器称作第一本振 (本地振荡器)。该振荡器和输入频率之差为第一中频。它通过调谐在 1350MHz 上的带通滤波器滤波, 然后进入放大器, 再经过 2 级混频器和放大器。第二中频为 29.875MHz, 第三中频为 2.75MHz。第三中频级中, 在到幅度解调器之前, 先选择性地通过一个 400kHz 或 20kHz 的带通滤波器, 信号再通过一个低通滤波器送到 Y 轴放大器, 该放大器输出连到 CRT 的 Y 偏转板。

X 偏转是由斜波发生器电压所驱动。此电压与一直流电压合成后去控制第一本振。频谱仪扫描的频率范围取决于斜波的高度。扫频由扫频宽度调节按键控制。在零扫频宽度模式时, 只有直流电压去控制第一本振。

三、安泰 AT5010 频谱分析仪的使用方法

1. 面板功能介绍

安泰 AT5010 频谱分析仪面板功能示意图如图 4-14 所示。

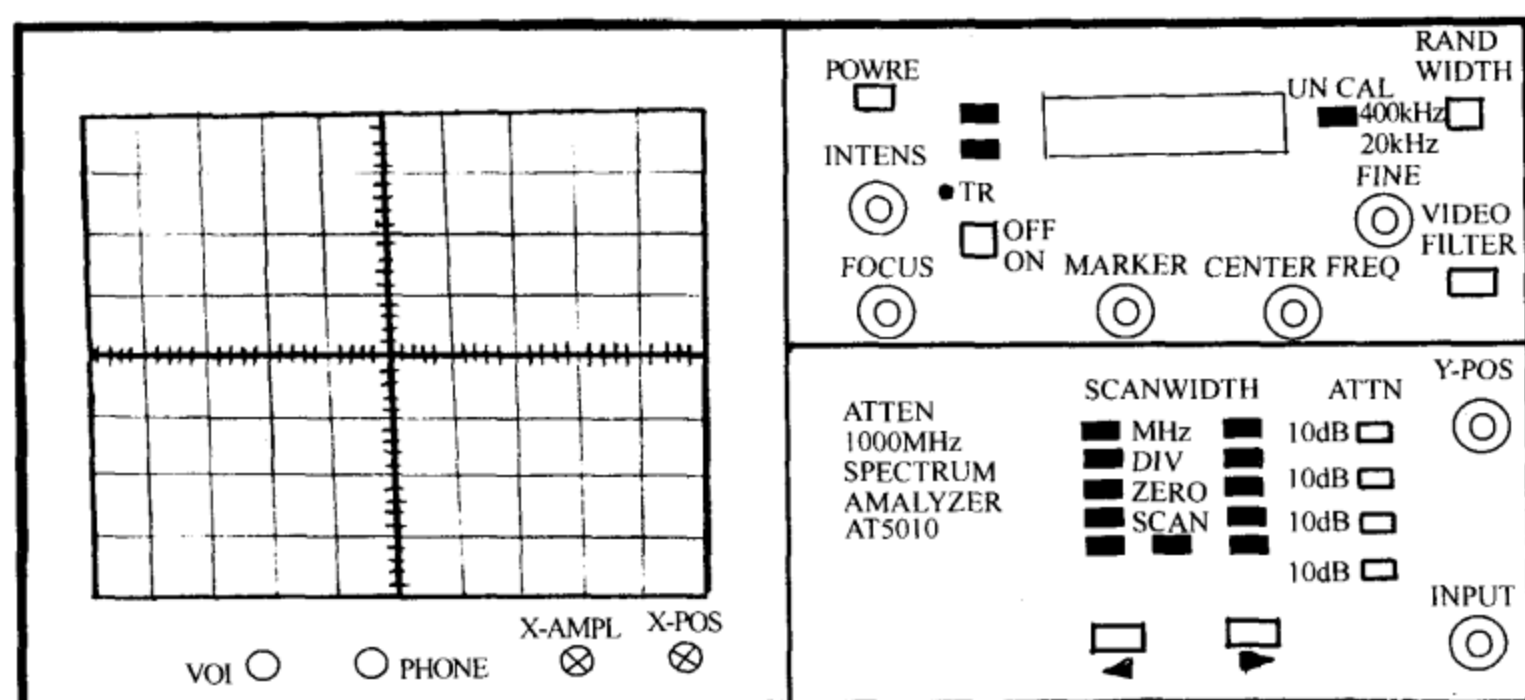


图 4-14 安泰 AT5010 频谱分析仪面板功能示意图

(1) 聚焦旋钮(FOCUS)。用于光点锐度调节。

(2) 亮度调节旋钮(INTENS)。用于光点亮暗调节。

(3) 电源开关(POWER)。被按下后,频谱分析仪开始工作。

(4) 轨迹旋钮(TR)。即使有磁性(铍膜合金)屏蔽,地球磁场对水平扫描线的影响仍不可能避免。通过轨迹旋钮内装的一个电位器来调整轨迹,使水平扫描线与水平刻度线基本对齐。

(5) 标记按钮(ON OFF)。当标记按钮置于 OFF(断)位置时,中心频率(CF)指示器发亮,此时显示器读出的是中心频率,当此开关在 ON(通)位置时,标记(MK)指示器发亮,此时显示器读出的是标记的频率,该标记在屏幕上是一个尖峰。

(6) 标记旋钮(MARKER)。用于调节标记频率。

(7) LED 指示灯。闪亮时表示幅度值不正确。这是由于扫频宽度和中频滤波器设置不当而造成幅度降低所致。这种情况可能出现在扫频范围过大时(相对于中频带宽(20kHz),或视频滤波器带宽(4kHz)),若要正确测量,可以不用视频滤波器或者减小扫频宽度。

(8) 中心频率粗/细调(CENT FREQ 和 FINE 两个旋钮)。两旋钮均用于调节中心频率。中心频率是指显示在屏幕水平中心处的频率。

(9) 中频带宽选择(400kHz、20kHz)。选在 20kHz 带宽时,噪声电平降低,选择性提高,能分隔开频率更近的谱线。此时,若扫频宽度过宽,则由于需要更长的扫描时间,从而造成信号过渡过程中信号幅度降低,使测量不正确。此时“校准失效”LED 发亮即表明这一点。

(10) 视频滤波器选择(VIDEO FILTER)。可用来降低屏幕上的噪声,它使得正常情况下,平均噪声电平刚好高出其信号(小信号)谱线,以便于观察。该滤波器带宽是 4kHz。

(11) Y 移位调节(Y-POS)。调节射速垂直方向移动。

(12) BNC 50Ω 输入端口(INPUT 50Ω)。在不用输入衰减时,不允许超出的最大允许输入电压为+25V(DC)和+10dBm(AC)。当加上 40dB 最大输入衰减时,最大输入电压为+20dBm。

(13) 衰减器按钮。输入衰减器包括有 4 个 10dB 衰减器,在信号进入第一混频器之

前,利用衰减器按钮可降低信号幅度。按键压下时衰减器接入。

在连接任何信号到输入端之前,先选择设置为最高衰减量($4 \times 10\text{dB}$)和最高可用频宽(扫频宽度 100MHz/格),若此时将中心频率调在 500MHz ,则在最大可测和显示频率范围内检测出任意谱线。当衰减减小时,基线向上移动,则可指出在最大可显示频率范围(如 1200MHz)之外信号幅度有溢出。

(14)扫频宽度选择按键(SCANWIDTH)。用来调节水平轴的每格扫频宽度。用▶按键来增加每格频宽,用◀按键来减少每格频宽。转换是 1-2-5 步级,从 $100\text{kHz/格} \sim 100\text{MHz/格}$ 。此扫频宽度以 MHz/格 显示出,它代表水平线每格刻度。中心频率是指水平轴心垂直刻线处的频率。假如中心频率和扫频宽度设置正确,X 轴有 10 格的长度,则当扫频宽度低于 100MHz 时,只有全频率范围的一部分可被显示。当扫频宽度设在 100MHz/格 位置,中心频率设在 500MHz 时,显示频率以每格 100MHz 扩展到右边,最右边是 $1000\text{MHz}(500\text{MHz} + 5 \times 100\text{MHz})$ 。同样,中心向左边则频率减低。此情况下,左边的刻线代表 0Hz 。这时,可以看到一条特别的谱线,即“0 频率”。这是由于第一本地振荡器频率通过了第一中频而产生的。当中心频率相对于扫频宽度较低时有此现象。

“0 频率”的幅度对每台频谱仪是不一样的。它不能作参考电平来使用。显示在“0 频率”点左边的那些谱线被称为镜频。在“0 扫频”模式时,频谱仪工作就像是一台可选择(中频)带宽的接收机,此时频率的选择是通过“中心频率”旋钮来实现的。通过中频滤波器的频谱线产生一个电平显示。

所选的扫频宽度/格值由设置按键上方的 LED 显示出来。

(15)水平位置旋钮(X-POS)。水平位置调整旋钮。

(16)水平幅度调整旋钮(X-AMPL)。水平幅度调整旋钮。

水平位置及水平幅度调节仅仅在仪器校准时才用。在正常使用下一般无须调节。当需要对它们实施调节时,则需要用一台很精确的射频振荡器配合使用。

(17)耳机插孔(PHONE)。阻抗大于 16Ω 的耳机或扬声器可以连到耳机插孔。当频谱仪对某一个谱线调谐好时,可能有的音频会被解调出来。

(18)音量调节(VOL)。调节耳机输出的音量。

(19)频率显示屏。在频谱分析仪上有一个频率显示屏,显示频标所在位置的频率值。

2. 测量方法

用频谱分析仪测量手机的射频信号比较方便,例如,测量爱立信 T18 第二中频信号(6MHz)时,可按以下方法进行。

(1)打开频谱分析仪,调节亮度和聚焦旋钮,使屏幕上显示的光迹清晰。

(2)调节扫频宽度选择按键(SCANWIDTH),使 1MHz 指示灯亮,表示每格所占频率为 1MHz 。

(3)调节中心频率粗/细调调节旋钮,使频标位于屏幕中心位置,所指频率为 6MHz 。

(4)将频谱仪探头外壳与 T18 电路主板接地点相连,探针插到第二中频滤波器的输出端,在电流表指针摆动时观察频谱仪屏幕上是否有脉冲式图像。正常情况下,当电流表指针摆动时,有脉冲图像出现在 6MHz 频标位置。

再如,用频谱分析仪测量诺基亚 3310 功放输出信号的频谱,可按以下步骤进行测量。

(1)打开频谱分析仪,调节亮度和聚焦旋钮,使屏幕上显示清晰的图像。

(2)调节中心频率粗/细调调节旋钮,使频标位于屏幕中心位置,显示屏显示频率值为900MHz。

(3)调节扫频宽度选择按键(SCANWIDTH),使10MHz指示灯亮,表示每格所占频率为10MHz。

(4)将频谱仪外壳与3310主板接地点相连,控针插到功放块的输出端,并拨打“112”,观察电流表摆动的同时观看频谱仪屏幕上有无脉冲图像。正常情况下,在900MHz频标附近会出现脉冲图像,但幅度会超出屏幕范围,可以按衰减按键,使图像最高点在屏幕范围内。

重点提示如下。

①AT5010 频谱分析仪测量幅度为 $-100\text{dBm} \sim +13\text{dBm}$,即信号强度达到最高的一条水平刻度线时,此信号的幅度为 -27dBm ,每下一大格减 10dBm 。如果频谱分析仪上的 40dB 衰减器全按下时,此时最高水平刻度线幅度为 $+13\text{dBm}(-27\text{dBm}+40\text{dB})$ 。

②手机有些信号测试点可以直接用高频电缆连接频谱仪进行测量。但有部分测试点因为存在阻抗匹配的问题,不能直接测量,可选用安泰AZ530-H高阻抗探头,探头输入电容为 2pF ,阻抗极高,可以直接定量测量手机上任何射频信号不会对被测电路有任何影响。AZ530-H高阻抗探头本身有 20dB (典型值)的衰减,因此用其作定量测量时,要在其直接读数上加 20dB 。

第三节 数字频率计

数字式频率计是一种用电子学方法测出一定时间间隔内输入的脉冲数目,并以数字形式显示测量结果的多功能的电子测量仪器。从结构组成上看,它包括A/D转换系统和电子计数系统两大部分。前者的作用是将被测信号转换成与之成比例的脉冲参量,后者的任务是对这些转换的数字脉冲量进行计数和显示。数字式频率计是应用计数法原理制成的数字式频率测量仪器,它具有精度高、测量范围宽、便于自动化测量等突出特点。数字式频率计除用做频率测量外,还可以测量与之有关的多种参量,如周期、频率比以及计数等。

数字频率计的面板功能和使用比较简单,下面以LT9801型频率计为例,简要介绍数字频率计的特点及使用方法。

一、LT9801 数字频率计的特点

LT9801 数字频率计一个 $10\text{Hz} \sim 2400\text{MHz}$ 多功能智能频率计。具有8位高亮度7段LED显示,低功耗线路设计,体积小、质量轻、高稳定性的晶体振荡器保证测量精度。

二、LT9801 数字频率计的使用方法

把仪器上的电源插头插入 220V 交流电源插座,这时数码管会显示数字,说明仪器正常工作。将随机电缆插入面板上的信号输入插座,选择适当的挡位和闸门时间,可测量信号频率。闸门时间短,则测频速度快,但分辨率低。闸门时间长,则测频速度慢,但分辨率高。

使用时要注意以下两点。一是测量高电压、强辐射信号频率时,有线方式应串接大阻值电阻,无线方式应将频率计远离辐射信号源。使信号衰减后再进行测试,以免损坏仪器。二是在测量 100MHz 以上的信号时,测量用电缆应尽量短一些。

第五章 电子元器件测量仪器

电子元器件如电阻器、电容器、电感器为基本电路元件；晶体二极管、三极管、场效应管、单结管、晶闸管等为半导体器件；不同类型的电子元器件，需要使用不同的仪器进行测量。电路元件按其在电路中的工作频率不同，采用不同测量方法和仪器。工作在低频电路中的元件，常采用电桥法测量，通常使用直流电桥、交流电桥和万用电桥；工作在高频电路中的元件，常采用谐振法测量，通常使用高频 Q 表、高频电感电容测量仪，因为半导体器件需要测量的参数很多，有直流参数、低频参数和高频参数，根据需要测量的参数，选择不同的晶体管测试仪进行测量。常用的仪器有晶体管特性图示仪、晶体管直流参数测试仪、 h 参数测试仪、 Y 参数测试仪和场效应管测试仪等。本章主要介绍应用较为广泛的万用电桥、高频 Q 表和晶体管特性图示仪的基本组成和使用方法。

第一节 万用电桥

工作在低频电路中的元件参数通常采用电桥法进行测量，电桥法实际上是一种比较测量法，它是把被测量与同类性质的标准量进行比较，从而确定被测量大小的方法。万用电桥就是一种在低频条件下测量电阻、电容和电感参数的交流阻抗电桥。

一、电桥的分类及平衡条件

电桥由 4 个桥臂组成，在两个对角线接点 a 、 b 间加电源，另两个对角线接点 c 、 d 间接平衡指示表（检流计），按桥臂阻抗性质和电源不同，电桥分为直流电桥和交流电桥。

1. 直流电桥

直流电桥电路原理图如图 5-1 所示，这种电桥也称为惠斯登电桥，其 4 个桥臂均为电阻，由直流电源供电，因此它只能用来测量电阻值。

工作时，调节一个或几个桥臂上的电阻，使检流计指示为零，此时电桥处于平衡状态， c 、 d 两点电位相等，即 $U_{ac} = U_{ad}$ ， $U_{bc} = U_{bd}$ ，根据基尔霍夫第一定律，当 $I_G = 0$ 时，可得

$$R_x/R_2 = R_3/R_4, \text{ 或 } R_x R_4 = R_2 R_3$$

如果 R_2, R_3, R_4 均为标准电阻，则被测电阻为

$$R_x = R_2 R_3 / R_4$$

由于 R_x 是与标准电阻直接进行比较，而标准电阻的准确度很高，且检流计的灵敏度也很高，因此用这种

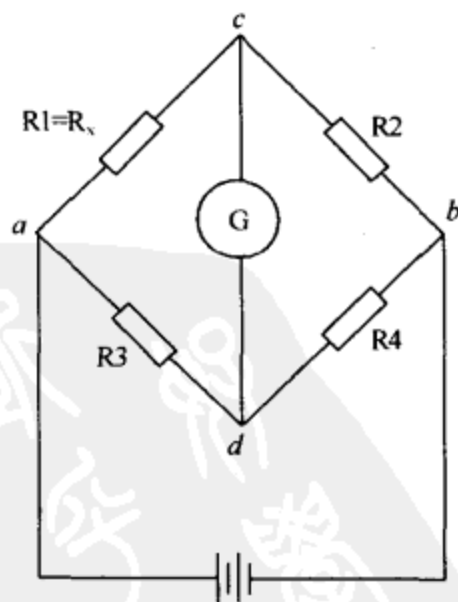


图 5-1 直流电桥原理图

方法测出的电阻值准确度很高。

2. 交流电桥

交流电桥电路原理图如图 5-2 所示,其工作原理与直流电桥基本相同,所不同的是采用交流电源供电,平衡指示表为交流电表,桥臂由电阻和电抗元件组成,因此它可以用来测量电阻、电容和电感元件的参数。

工作时,调节一个或几个桥臂上的阻抗,使检流计指示为零,此时电桥就处于平衡状态, c, d 两点电位相等,即 $U_{ac}=U_{ad}, U_{bc}=U_{bd}$,可得

$$Z_x/Z2=Z3/Z4, \text{或 } Z_x Z4=Z2 Z3$$

由于阻抗为复数,根据复数相等条件,上式两边实部与虚部各自相等,可见交流电桥的平衡条件有两个:一是幅度平衡条件;二是相位平衡条件。为此,交流电桥至少应有两个可调节的标准元件。

为了使调节方便,交流电桥有两种基本形式:电阻比率电桥和电阻乘积电桥。

(1)电阻比率电桥。电阻比率电桥如图 5-3 所示。其特点是与 Z_x 相邻的桥臂 $Z3$ 是一个标准阻抗 Z_s ,另外两个桥臂为纯电阻,此时可得

$$Z_x=(Z2/Z4)Z_s$$

式中: $Z2/Z3$ 为电阻之比; Z_x 与 Z_s 为同类性质的阻抗。实际应用中,通常用标准电容来测量。

(2)电阻乘积电桥。电阻乘积电桥如图 5-4 所示。其特点是与 Z_x 相对的桥臂 $Z4$ 是一个标准阻抗 Z_s ,另外两个桥臂为纯电阻,此时可得

$$Z_x=(Z2Z3)/Z_s$$

式中: $Z2Z3$ 为电阻乘积; Z_x 与 Z_s 互为倒数,即具有符号相反的相角,因此这种电桥可用标准电容来测量未知电感。

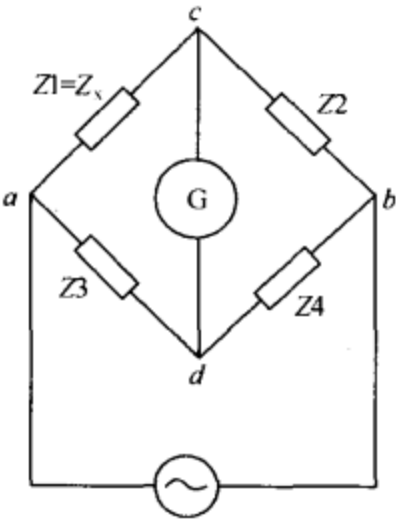


图 5-2 交流电桥原理图

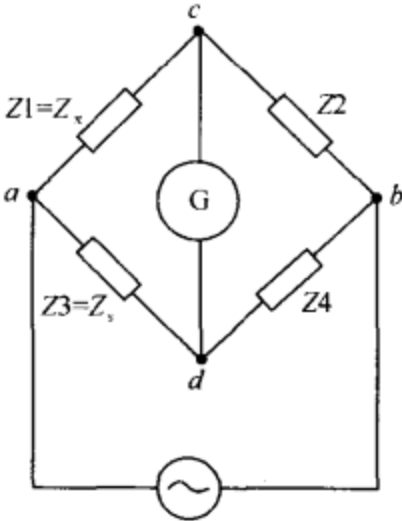


图 5-3 电阻比率电桥

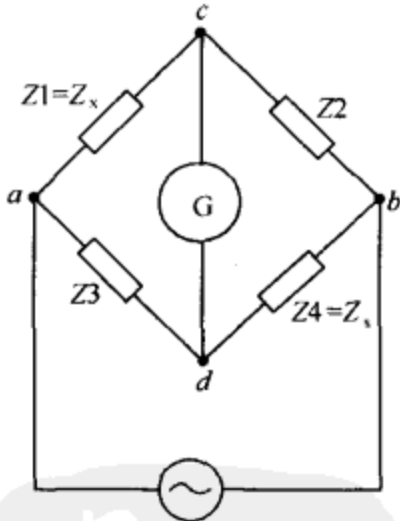


图 5-4 电阻乘积电桥

二、万用电桥的组成和工作原理

为了测量使用方便,几种不同类型的电桥组合起来,使之具有测量电阻、电容和电感元件参数的功能,这种电桥称为万用电桥。下面以 QSI8A 型万用电桥为例说明其组成和工作原理。该电桥主要由测量桥体、音频振荡器、交流放大器和平衡指示表(检流计)几部分组成,测量桥体由惠斯登电桥、电容串联比较电桥(一种比率电桥)、麦氏—文氏电桥

(一种乘积电桥)组合而成,使用时通过转换开关进行切换。

1. 测量电容原理

QS18A 型万用电桥的电容测量电路采用的是串联电容比较电桥,如图 5-5 所示,其中 C_x 、 R_x 为被测元件, C_s 、 R_s 为可调标准阻抗,即为读数桥臂, R_2 、 R_4 为比率桥臂。测量时,调整标准阻抗和及 R_2/R_4 的值,使电桥处于平衡状态,则

$$\text{被测电容 } C_x = (R_4/R_2)C_s$$

$$\text{损耗电阻 } R_x = (R_2/R_4)R_s$$

$$\text{损耗因数 } D_x = \omega C_s R_s$$

2. 测量电感原理

QS18A 型万用电桥电感测量电路采用麦氏—文氏电桥,如图 5-6 所示,其中 L_x 、 R_x 为被测元件, C_s 、 R_s 为可调标准阻抗,即为读数桥臂, R_2 、 R_3 为倍率桥臂。测量时,调整标准阻抗和 R_2R_3 的值使电桥处于平衡状态,则

$$\text{被测电感 } L_x = R_2R_3C_s$$

$$\text{损耗电阻 } R_x = R_2R_3/R_s$$

$$\text{品质因数 } Q_x = \omega C_s R_s$$

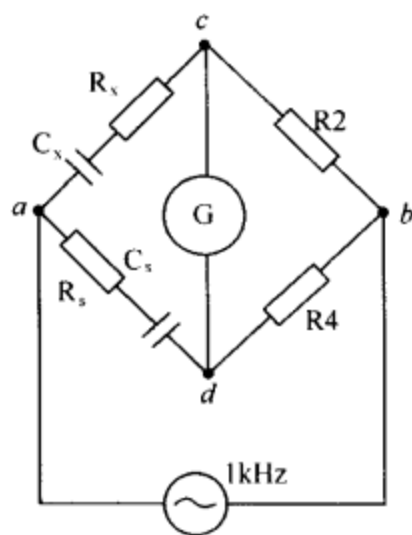


图 5-5 电容串联比较电桥

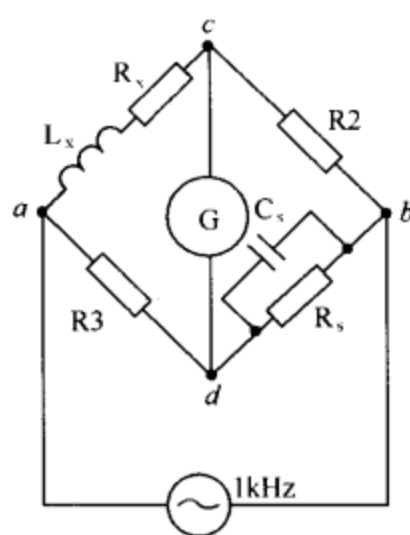


图 5-6 麦氏—文氏电桥

3. 测量电阻原理

QS18A 型万用电桥的电阻测量电路采用惠斯登电桥,如图 5-1 所示,其中 R_x 为被测电阻,其余均为标准电阻, R_3 为读数桥臂, R_2 、 R_4 为比率桥臂。测量时,调整 R_3 和 R_2/R_4 的值,使电桥处于平衡状态,则被测电阻为

$$R_x = R_3R_2/R_4$$

三、QS18A 型万用电桥的使用

1. 测量范围

(1) 电容测量。1.0pF~1100μF,分 3 挡:1.0pF~110pF;100pF~110uF;100μF~1100μF。

(2) 电感测量。1.0μH~110H,分 5 挡:1.0μH~11μH;10μH~110μH;100μH~1.1H;1H~11H;10H~110H。

(3) 电阻测量。10mΩ~11MΩ,分 3 挡:10mΩ~1.1Ω;1Ω~1.1MΩ;1MΩ~11MΩ。

大于 10Ω 时用直流 9V 电源。

2. 面板说明

QSI8A 型万用电桥的面板如图 5-7 所示。

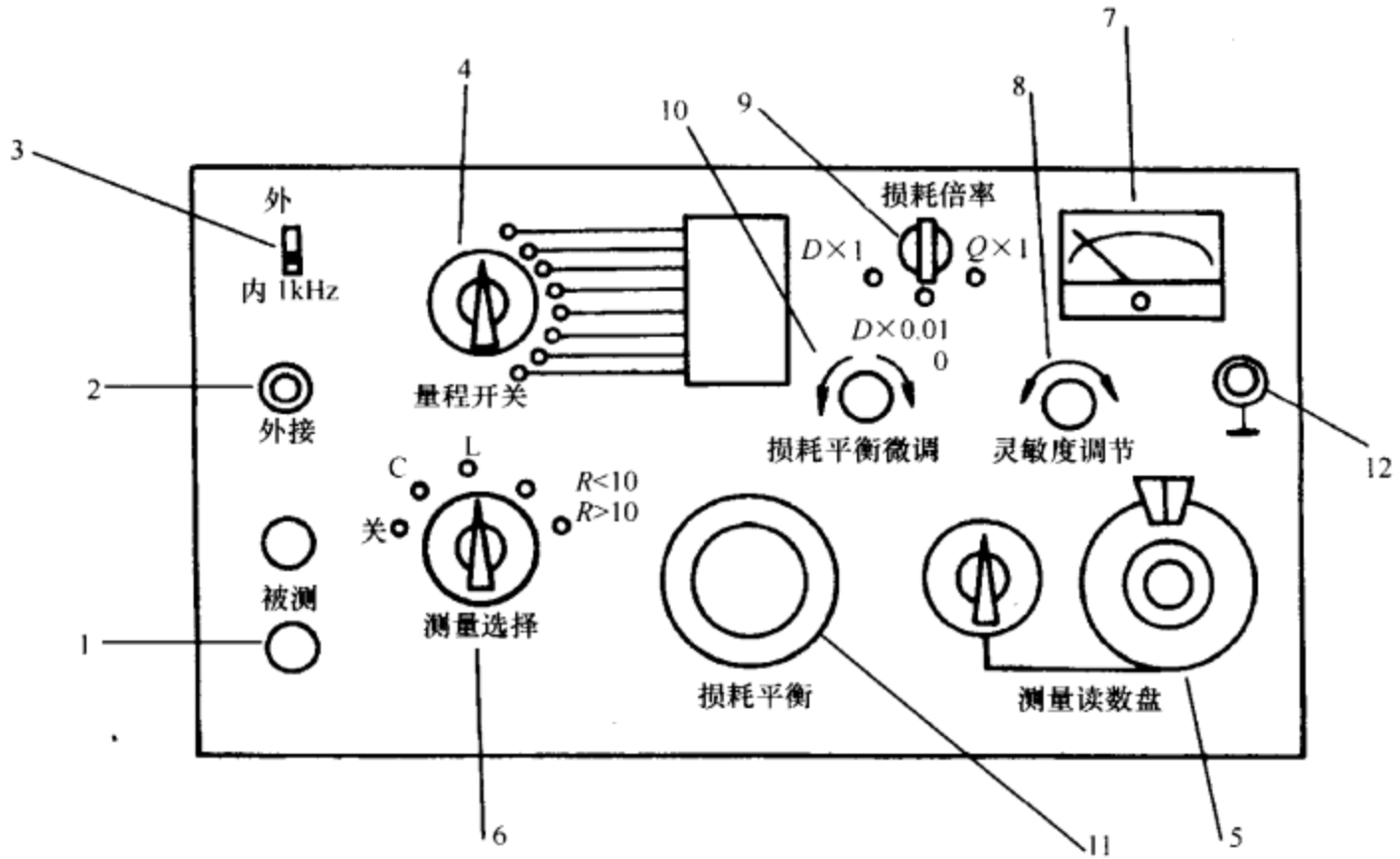


图 5-7 QSI8A 型万用电桥的面板

- (1) 测量接线柱。用来连接被测元件。
- (2) 外接插孔。当使用外接音频电源时,由此插孔接入。
- (3) 拨动开关。用来转换电桥电源,分内 1kHz 和外接两挡。
- (4) 量程开关。用来选择测量范围,上面各挡的标示值是指读数在满度时的最大值。
- (5) 测量读数盘。由一个步进式测量盘和一个连续可调的测量盘组成。
- (6) 测量选择。用于转换测量功能,以进行电感、电容或电阻的测量。它又兼电源开关,测量完毕后应置于“关”的位置。
- (7) 平衡指示表。用以指示电桥的平衡状态,调节损耗平衡和读数旋钮时,应使指针向零位偏转,当指针接近零点时,可认为电桥近于平衡状态。
- (8) 灵敏度调节。用于调节电桥放大器的放大倍数,开始测量时,应降低灵敏度使平衡指示表指示小于满刻度,当电桥接近平衡时,再逐渐增大灵敏度。
- (9) 损耗倍率。用于选择损耗平衡的读数范围,分 $Q \times 1$, $D \times 0.01$, $D \times 1$ 等 3 挡。测量电感线圈时,此开关放在 $Q \times 1$ 处,测量小损耗电容时,放在 $D \times 0.01$ 处,测量大损耗电容时,放在 $D \times 1$ 处,测量电阻时,此开关不起作用,可放在任何位置。
- (10) 损耗微调。用于微调平衡时的损耗值,一般情况下,应放在“0”的位置。
- (11) 损耗平衡。被测电感或电容元件的损耗读数由此旋钮指示,此读数盘上的指示值再乘以倍率开关的示值,即为测得的损耗示值。
- (12) 接地接线柱。接地点与仪器的外壳相连,使用时应接地,以减小干扰影响。

3. 使用方法

- (1) 把被测元件接在测量接线柱上,根据被测元件的性质,将“测量选择”旋转变至相

应的位置。

(2)估计被测元件的大小,将“量程开关”置于合适的挡位。

(3)根据被测元件的性质,合理选择“损耗倍率”开关的挡位。

(4)调节“灵敏度调节”旋钮,使平衡指示表指针略小于满度。

(5)测量电感和电容时,应反复调节“读数旋钮”和“损耗平衡”旋钮使平衡指示表指针最接近于零点,测量电阻时,只调节“读数旋钮”即可。

(6)读取测量值。 L_x 、 C_x 及 R_x 的值等于“量程开关”示值乘以两个“读数旋钮”示值之和。 D_x 、 Q_x 的值等于“损耗倍率”示值乘以“损耗平衡”示值。

第二节 高频Q表

工作在高频电路中的元件参数通常采用谐振法进行测量,谐振测量法就是把被测元件接入 LC 回路,然后调节回路参数使之产生谐振,再根据相应的关系来确定被测量的数值。虽然它没有电桥法的测量准确度高,但它的测量条件与使用条件相近,且测量电路简单,受分布参数影响小,因此得到广泛的应用。

高频 Q 表就是一种利用谐振法,在高频条件下测量电容量及损耗因数(D 值)、电感量及品质因数(Q 值)、电感线圈的分布电容、高频回路的等效电阻及传输线的阻抗特性等参数的多用途仪器。

一、高频 Q 表的组成

高频 Q 表一般由高频振荡电路、频率指示器、测量回路、 Q 值指示电路和电源电路几部分组成,基本组成框图如图 5-8 所示。



图 5-8 高频 Q 表的基本组成

1. 高频振荡电路

高频振荡电路可产生 50kHz~50MHz 的高频信号,一般将其分为几个波段,由波段开关转换,在每个波段内,频率均可连续调节,高频振荡信号经稳幅和阻抗变换后输出。

2. 频率指示

频率指示器通常有刻度盘式和数码管式两种,数码管指示器实际上是一个数字频率计,它可精确指示高频振荡器输出信号的频率。

3. 测量回路

测量回路中有两个标准可变电容器,一个是主调电容器,另一个是微调电容器,它们与被测线圈或辅助线圈组成串联谐振电路,进行各种测量。

4. Q 值指示电路

Q 值指示电路是一个高频电子电压表,它并联在串联谐振电路标准可变电容器两端,当谐振电路处于谐振状态时,电容器两端的电压达到最大值,此电压值可用来表示谐振回路的 Q 值。

二、QBG-3 型高频 Q 表的使用

1. 面板说明

QBG-3 型高频 Q 表的面板如图 5-9 所示。

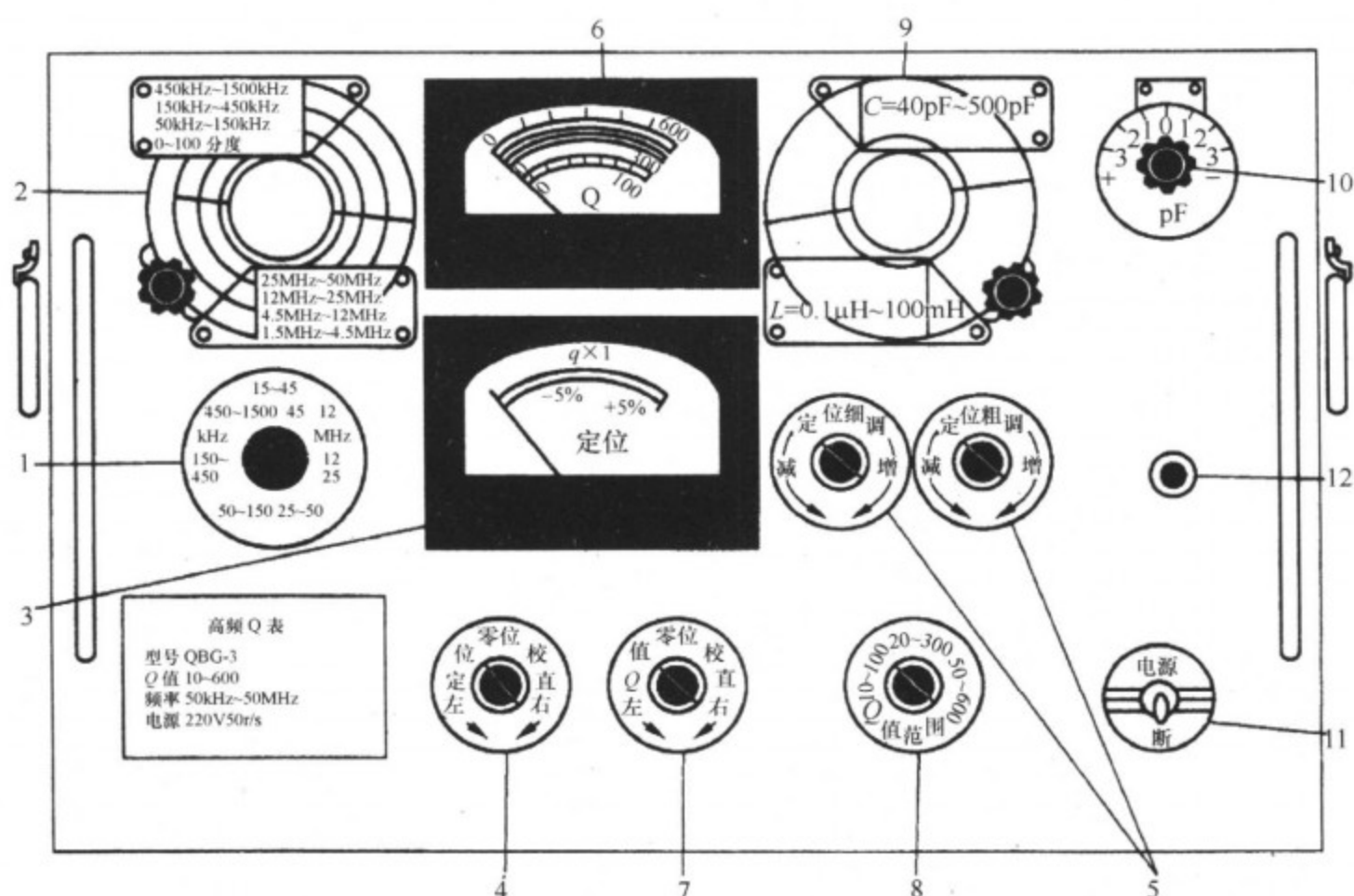


图 5-9 QBG-3 型高频 Q 表的面板

(1)波段选择开关。高频振荡电路中的滚动式波段开关,共有 7 个频段可供选择。

(2)频率刻度盘。可连续调节每个频段内的频率,共有 7 条频率刻度,与频段开关配合使用,以选择所需频率。

(3)定位指示表头。用做监视引入测试电路的高频电压大小。使用时调节定位粗调和细调旋钮,使表针指示定位在“ $q \times 1$ ”刻度上,才能在 Q 值表头上直读 Q 值。

(4)定位零位校直旋钮。调整定位指示表头电气零点。当定位粗调旋钮处于起始位置(逆时针旋至底),调节定位零位校直钮,可使定位表头指针在零位(一般该钮处于中间偏左位)。

(5)定位细调、粗调旋钮。操作方法在前面已有介绍。

(6)Q 值指示表头。作为 Q 值读数和谐振指示。表头分有“0~100、0~300、0~600”3 个区段刻度线,可根据 Q 值范围开关,读出相应刻度数。

(7)Q 值零位校直旋钮。调整 Q 值指示表头指针为电气零位。

(8)Q 值范围选择开关。与 Q 值指示表头配合使用,测量时,根据被测件 Q 值选择适当量程,并可作为谐振指示时的灵敏度变换用。

(9)主调电容度盘。对准上方的读数指示红线为测量电容 C 刻度线;对准下方的读数指示红线为测量电感 L 刻度线,分别作为电容和电感的读数值。

(10)微调电容度盘。通常刻度盘处于零位,否则应将微调电容度盘的读数加到主调

电容度盘的读数上去。分有+3、+2、+1;0;-3、-2、-1 刻度,作微调用。

(11)电源开关。为仪器 220V 交流电源开关。

(12)电源指示灯。开启电源开关后,该指示灯点亮;关机后,指示灯熄灭。

(13)测量用接线柱。位于仪器顶部(图上未注)。“ L_x ”接线柱一对,用于接被测线圈;“ C_x ”接线柱一对,用于接被测电容。

2. 仪器使用方法

使用前,必须做好如下预备工作:一是接通电源后预热 30min 左右,方可进行各项测量;二是校正定位指示电表和 Q 值指示电表为电气零位;三是将定位粗调旋钮向逆时针方向旋至底,定位零位校直旋钮置于中心偏左处,微调电容度盘调到零。

1)高频线圈 Q 值的测量

- (1)将高频线圈接于仪器顶部的“ L_x ”接线柱上。
- (2)调节频段选择开关和频率度盘,调到适合规定的测量频率点上。
- (3)估计被测件的 Q 值范围,将 Q 值范围开关置于适当的挡级上。
- (4)调节定位零位校直旋钮,使定位表指针处于零位。
- (5)将定位粗、细调旋钮调节定位在“ $q \times 1$ ”指示上。
- (6)调节主电容度盘,使谐振点远离, Q 值表指示最小。
- (7)调节 Q 值零位校直旋钮,使 Q 表指示为零,且 100、300、600 3 挡零位均在同一点上。
- (8)最后再调节主调和微调电容度盘,使测试回路谐振, Q 表指示最大,此时 Q 值表头的指示值即为高频线圈的回路 Q 值。

2)高频线圈电感量的测量

- (1)将被测线圈牢靠接于仪器顶部“ L_x ”接线柱上。
- (2)先估测线圈的电感量值,根据面板上的“电感、倍率、频率”对照表(表 5-1),选择一相应的标准频率,然后通过频率选择开关和频率度盘,将高频信号高层调到这一标准频率上。

表 5-1 电感、倍率、频率对照表

电感	倍率	频率	电感	倍率	频率
0.1 μ H~1.0 μ H	$\times 0.1$	25.2MHz	0.1mH~1.0mH	$\times 0.1$	795kHz
1.0 μ H~10 μ H	$\times 1$	7.95 MHz	1.0mH~10mH	$\times 1$	252 kHz
10 μ H~100 μ H	$\times 10$	2.52 MHz	10mH~100mH	$\times 10$	79.5 kHz

(3)微调电容度盘置于“0”处,调节主调电容度盘,使测试回路谐振,这时主调电容度盘对边的电感数乘以表中所指示的倍率,即为高频线圈的近似电感值。例如,被测线圈电感量约为 5mH,根据表 5-1 查得被测电感量在 1.0mH~10mH 范围内,测试频率为 252kHz,实际电感量按主调电容度盘上的 L 读数乘以倍率 1。

3)电容器容量小于 470pF 的测量

- (1)将一只电感量约 1mH 的电感接在“ L_x ”接线柱上。
- (2)将微调电容度盘调至零,主调电容度盘调到较大的电容量作为 C1。
- (3)调节 Q 值零位和定位零位校直旋钮,使定位和 Q 表指示均为零,再调节定位粗、细调旋钮,使定位表指示在“ $q \times 1$ ”处。

(4)调节频率度盘到谐振点上。

(5)最后将被测电容器接于“ C_x ”接线柱上,通过调节主调电容度盘,使测量回路重新谐振。这时电容的读数作为 C_2 ,那么所测电容器的容量应为 $C_x=C_1-C_2$ 。

4)电容器容量大于 470pF 的测量

(1)取一只标有适当容量的标准电容器接于“ C_x ”两端,作为 C_3 。

(2)与测量小于 470pF 电容器的方法相同,在“ L_x ”两端接一电感,将主调电容度盘调到较大的值作为 C_1 ,再调节频率度盘到谐振点。

(3)取下标准电容器,换接被测电容器,然后调节谐振电容,使回路重新谐振,那么这时电容读数作为 C_2 ,所测电容器的电容量为 $C_x=C_3+C_1-C_2$ 。

(4)可采用串联法进行测量更为简单。将测试电感接到“ L_x ”两端,调节主调电容度盘,使回路谐振,作为 C_1 的读数;然后将被测电容器与已测试过的电感器串联接于“ L_x ”两端;再调节主调电容度盘,使回路再次谐振,这时的电容读数作为 C_2 。为此,被测电容器的电容量为 $C_x=C_1 \times C_2 / (C_1 + C_2)$ 。

由于测量的是元器件高频 Q 值之类的技术参数,为此必须注意如下事项。

①在测量过程中,手不能接触或靠近被测元件,以免人体感应造成误差。

②被测元件不要直接搁在面板顶上,可用绝缘材料作为衬垫。

③有屏蔽的被测元件,屏蔽罩外壳应接于低电位(地)端的接线柱上。

④为提高测试精度,被测元件与测量接线柱间的接触电阻应越小越好。

第三节 晶体管特性图示仪

在电子产品的生产和科研中,半导体器件性能的好坏是非常重要的。它直接影响到产品的质量,如可靠性、稳定性以及电路的指标等,所以,必须根据设计要求,对半导体器件进行认定和筛选。同样,在日常电子产品的维修中,也必须对所用的半导体器件进行测试,否则会使产品的指标下降,甚至不能正常工作。因此,对半导体器件的各项性能参数进行测量就成为一项不可缺少的工作。

晶体管特性图示仪就是能够胜任上述测量任务的仪器之一,它是一种能直接观察晶体管特性曲线的仪器,它可以通过各种控制开关的转换,测量 NPN 型或 PNP 型晶体管的共发射极、共基极、共集电极接法的输入、输出、 β 参数、 h_{FE} 参数和 α 参数等特性;也可以通过阶梯信号的单族作用迅速地测定晶体管的各种极限参数;还可以单独利用其电压、电流的读测特性,测定各种反向饱和电流 I_{CBO} 、 I_{CEO} 、 I_{EBO} 和各种击穿电压 BV_{CBO} 、 BV_{CEO} 、 BV_{EBO} 等,以及二极管的正、反向伏安特性及击穿电压等指标。

下面重点以 JT-1 型晶体管特性图示仪为例,说明其电路组成及使用方法。

一、JT-1 型晶体管特性图示仪的组成

晶体管特性图示仪的基本组成框图如图 5-10 所示。它主要由基极阶梯信号发生器、集电极扫描电压发生器、示波显示部分、被测晶体管部分和电源供电 5 部分组成。

1. 阶梯信号发生器

阶梯信号发生器包括阶梯信号发生和阶梯信号放大。通过阶梯选择开关(S_1),可为

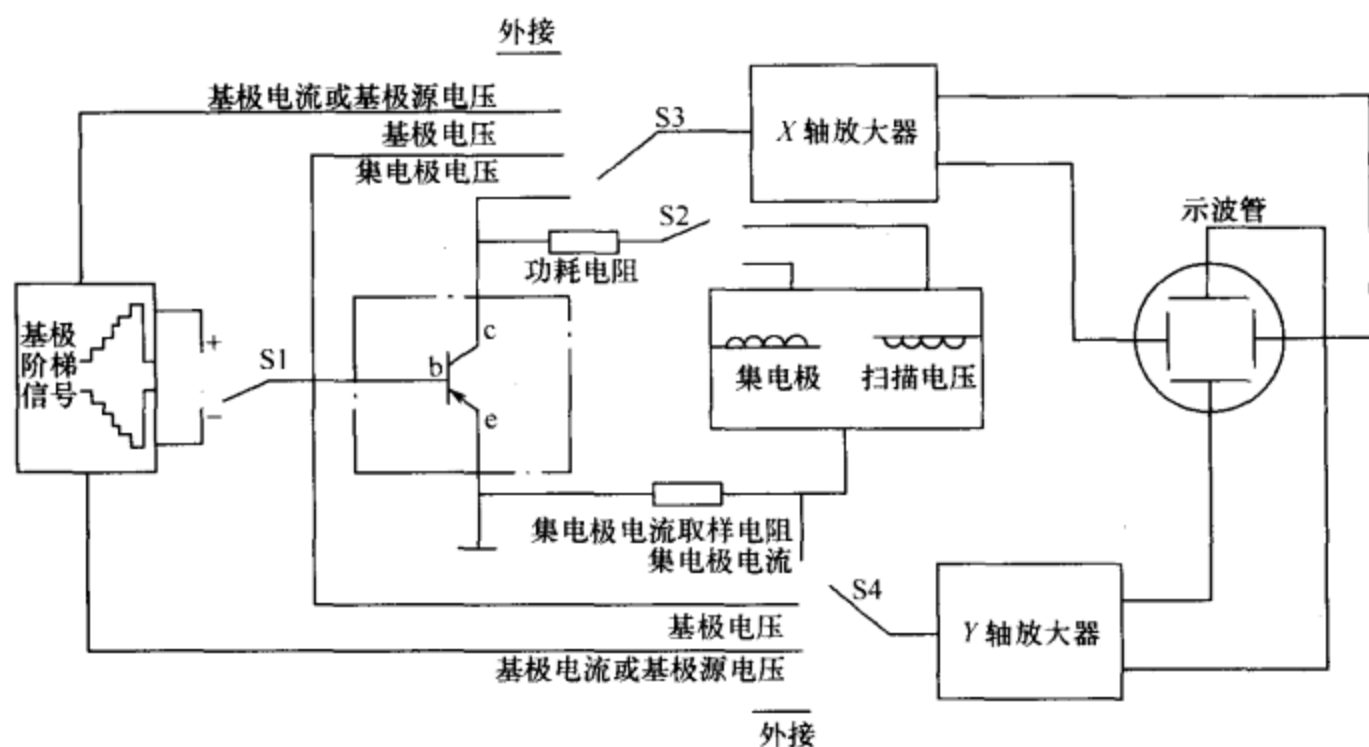


图 5-10 JT-1 晶体管特性图示仪的组成

被测晶体管提供大小和极性可变的输入阶梯电流或阶梯电压。

2. 集电极扫描电压

它直接采用 50Hz 交流电经全波整流后,形成 100Hz 脉动电压源。通过转换开关 (S2) 给三极管集电极提供大小与极性可变的扫描电压。

3. 示波显示部分

它由 Z 轴放大器、Y 轴放大器和示波管控制电路组成。示波显示电路的作用是将基极阶梯电压和集电极扫描电压在被测管作用下的电信号加以放大,并在屏幕上显示出被测管的伏—安特性曲线。

4. 被测晶体管部分

它包括测试台和各种转换开关,使晶体管的各种参数都能得到测量。

5. 电源供给部分

为仪器中各部分电路和被测晶体管提供各种电源。

二、JT-1 型晶体管特性图示仪的基本工作原理

基极阶梯信号和正弦波集电极扫描电压信号是为被测晶体管提供合适的偏量电压,使其工作在放大状态,改变这两部分信号的极性开关,就可以对晶体管(NPN 型或 PNP 型)提供极性不同的偏置电压;改变这两部分信号的大小,可使被测晶体管工作在特定的工作状态。通过“X 轴作用”开关 S3 和“Y 轴作用”开关 S4 的转换,可以将测管的不同参量,通过 X 轴、Y 轴放大器在示波管上显示出来。改变 S3、S4 的位置,也就改变了荧光屏所显示的波形的坐标性质,从而根据曲线读出各种参数。

三、JT-1 型晶体管特性图示仪旋钮的作用

JT-1 型晶体管特性图示仪面板如图 5-11 所示。

1. 荧光屏控制旋钮

(1)标尺亮度。该旋钮旋至左端,荧光屏上呈现黄色,可供摄影用;旋至右端,荧光屏

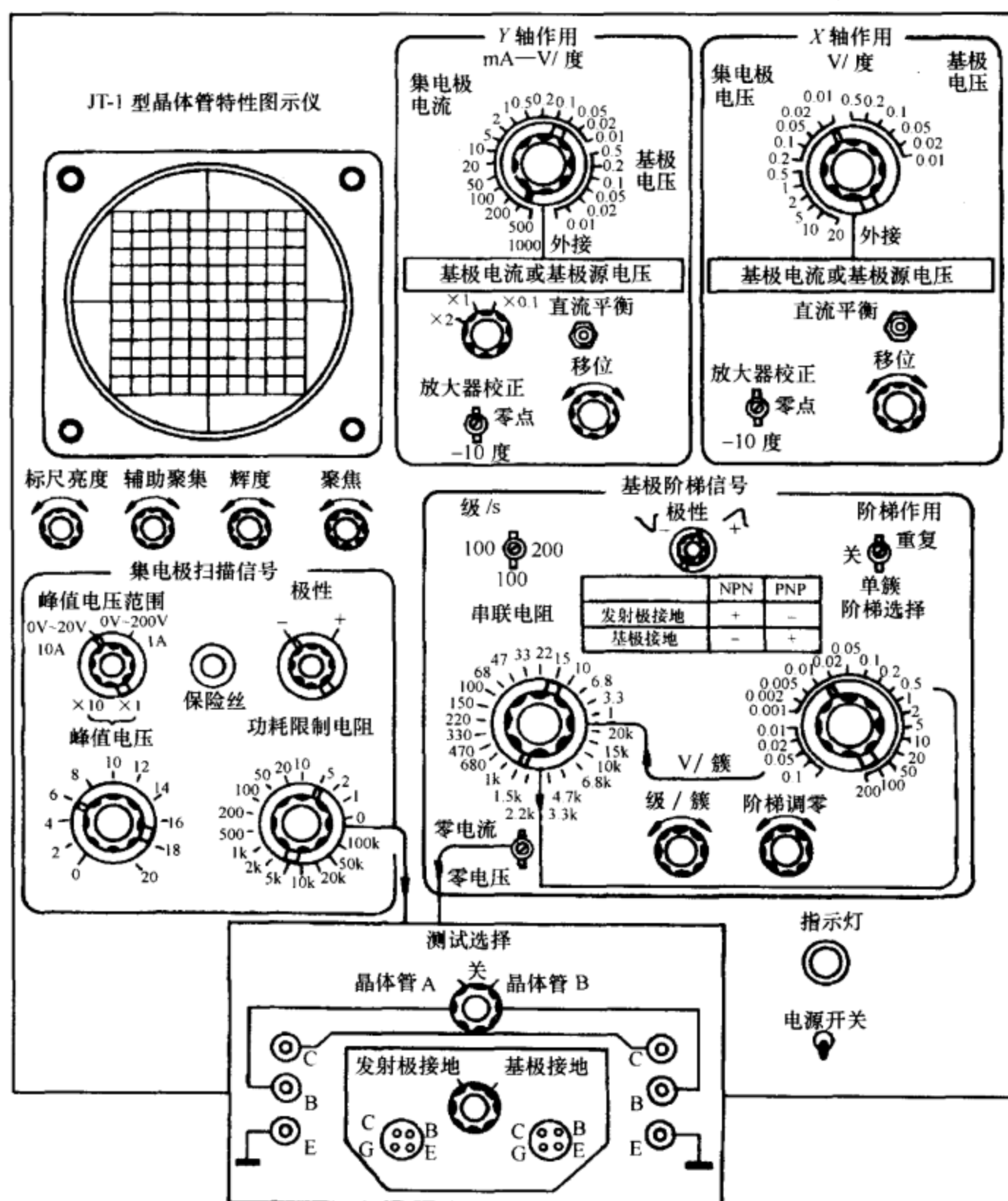


图 5-11 JT-1 型晶体管特性图示仪面板

上出现红色,可供刻度照明用。

(2)辅助聚焦与聚焦。两个旋钮互相配合调节,可使荧光屏的亮点或线条由散焦状态细调为清晰状态。

(3)辉度。调节屏上波形的亮度。

2. Y 轴作用

(1)mA—V/度选择开关。共分 24 挡,具有 4 种作用:一是集电极电流,占 16 挡,范围为 0.01mA/度~1000mA/度;二是基极电压,占 6 挡,范围为 0.01V/度~0.5V/度;三是基极电流或基极源电压,占 1 挡;四是外接,占 1 挡。

信号从后箱板 Y(+)、Y(-)处输入,Y 轴放大器的灵敏度为 0.1V/度。

(2)mA—V/度倍率选择开关。有“ $\times 0.1$ 、 $\times 1$ 、 $\times 2$ ”3挡,一般置于“ $\times 1$ ”挡。如果置于“ $\times 2$ ”挡,将“mA—V/度”的值再乘以2。

(3)直流平衡调节旋钮。改变Y轴基极电压6挡位置时,放大器对校正信号的“零点”位置不会产生位移。

(4)放大器校正开关。对放大器进行放大倍数及零位的校正,使屏幕Y轴标尺刻度读数准确。

(5)移位旋钮。使波形作上下移动。

3. X轴作用

(1)V/度选择开关。共分19挡,具有4种作用:一是集电极电压,占11挡,范围为0.01V/度 \sim 20V/度,用以改变放大器的灵敏度;二是基极电压,占6挡,范围为0.01V/度 \sim 0.5V/度,用以改变放大器的增益;三是基极电流或基极源电压,占1挡;四是外接,占1挡。

信号由后箱板的X(+)、X(—)输入,其灵敏度为0.1V/度。

(2)直流平衡调节旋钮/放大器校正开关、移位旋钮。作用与Y轴相同,但只对X轴起作用。

4. 集电极扫描信号

(1)峰值电压范围。分“0V \sim 20V(10A)”和“0V \sim 200V(1A)”2挡。当将10A挡改换到1A挡前,应将峰值电压调至零,然后按需要增加,否则易击穿被测管。

(2)极性转换旋钮。用于转换集电极电压的正负极性。共发射极电路,测NPN型管用“+”;测PNP型管用“—”。共集电极电路,“+、—”选用则相反。

(3)峰值电压调节旋钮。可与峰值电压范围调节旋钮配合使用,使扫描电压在0V \sim 20V或0V \sim 200V连续可调。

(4)功耗限制电阻。共有16挡,范围为“1 Ω \sim 500 Ω 与1k Ω \sim 100k Ω ”,相当测晶体管时将相应的电阻串联在集电极,限制其功耗,并作为集电极的负载电阻。

5. 基极阶梯信号

(1)级/s开关。共分3挡,范围为“上100,下100、200”,表示每秒钟显示的阶梯级数。

(2)极性选择旋钮。测“NPN”管时,特性曲线应选择“+”;测“PNP”管时,特性曲线应选择“—”。

(3)阶梯作用。分为关、重复、单簇3挡。

①重复。阶梯信号重复加在被测管的发射极或基极上,可直观到被测管的特性曲线,并可供摄影用。

②单簇。每扳动至“单簇”挡1次,可相应输出一级阶梯信号,并出现一条曲线,用来观察被测管的各种极限特性。

(4)串联电阻调节旋钮。测量管子的输入特性时,应将阶梯选择旋钮置于“V/簇”,等于将电阻串联在被测管的输入端;直接进入管子输入端时,应将阶梯选择簇钮置于“mA/簇”。

(5)阶梯选择。共有22挡,具有2种作用。可用来观察和选择管子的输入电流和基极阶梯电压。

(6)零电流/零电压转换开关。当开关置于“零电流”时,被测管的基极开路;置于中间

位置时,阶梯信号加到基极;置于“零电压”时,被测管的基极和发射极间短路。

(7)级/簇调节旋钮。可连续调节 4 级~12 级范围内的阶梯信号。

(8)阶梯调零旋钮。在使用本仪器时,需将阶梯信号先调置“零电位”。

6. 测试平台

(1)测试选择。当旋钮置于 A 或 B 时,可用来观察、分析、比较被测两管的各种同类特性;当置于“关”时,信号不能加到管子上。

(2)晶体管插座。端子、管座各两组。

四、JT-1 型晶体管特性图示仪的使用方法

打开电源,工作指示灯亮,预热 15min,并将各控制旋钮和开关调至所需读测的范围。

1. 晶体三极管的测试

以 NPN 型 3DG6 小功率管为例,测定其特性曲线簇。

(1)输出特性曲线簇的测定。将测试选择旋钮置晶体管 A 挡或 B 挡;接地选择旋钮置于“发射极接地”;晶体管插入选择插孔的相应“极性”的引脚中;X 轴作用置于“2V/度”;Y 轴作用置于“1mA—V/度”;阶梯作用选择开关置于“重复”;阶梯选择旋钮置于“0.01mA/级”;基极阶梯信号的极性选择旋钮置于“+”;集电极扫描信号的极性选择旋钮置于“+”;级/簇调节旋钮置于“10 级”;级/s 选择开关置于“200”;峰值电压调节旋钮置于“0V~20V”;功耗限制电阻选择旋钮置于“1kΩ”。然后逐渐增加峰值 $U_{CE}=12.5V$ 时,其输出特性曲线簇如图 5-12 所示。

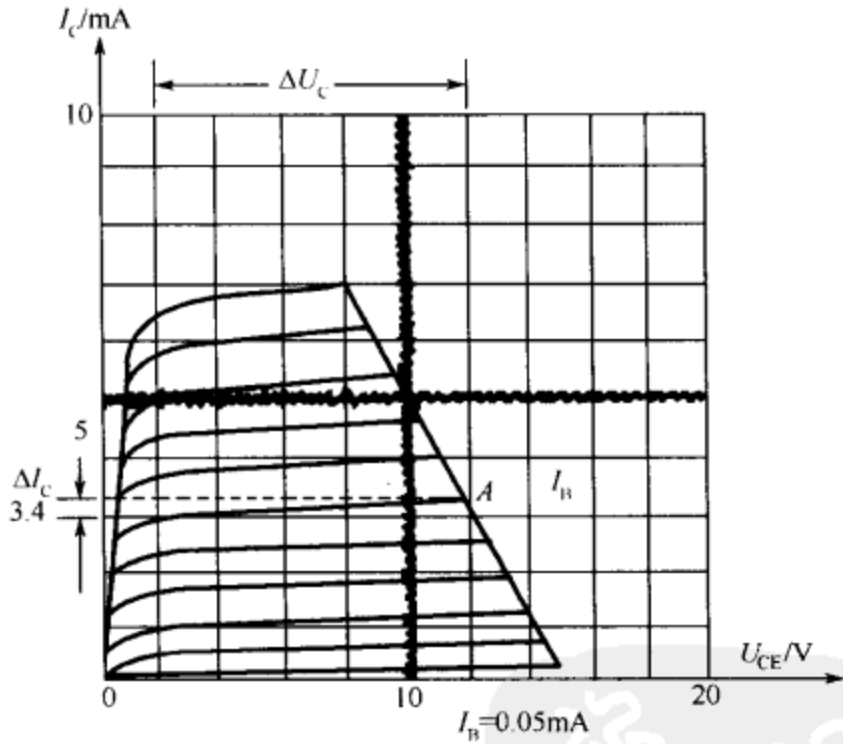


图 5-12 输出特性曲线簇

若这时选择在“A 点”, $I_C=3.4mA$, $I_B=50\mu A=0.05mA$, $U_{CE}=10V$ 。根据有关公式,A 点的共发射极电路的直流电流放大系数 β (或 h_{FE})为:

$$\beta=I_C/I_B=3.4/0.05=68$$

(2)集—发间反向击穿电压特性曲线的测定。将集电极扫描信号的极性选择旋钮置于“+”;基极阶梯信号的极性选择旋钮置于“+”;阶梯作用选择开关置于“关”;接地选择

旋钮置于“发射极接地”；峰值电压范围旋钮置于“0V~200V”。然后将峰值电压由零逐渐加大到 25V 时，临近的击穿电压 BV_{CEO} 的特性曲线如图 5-13 所示。

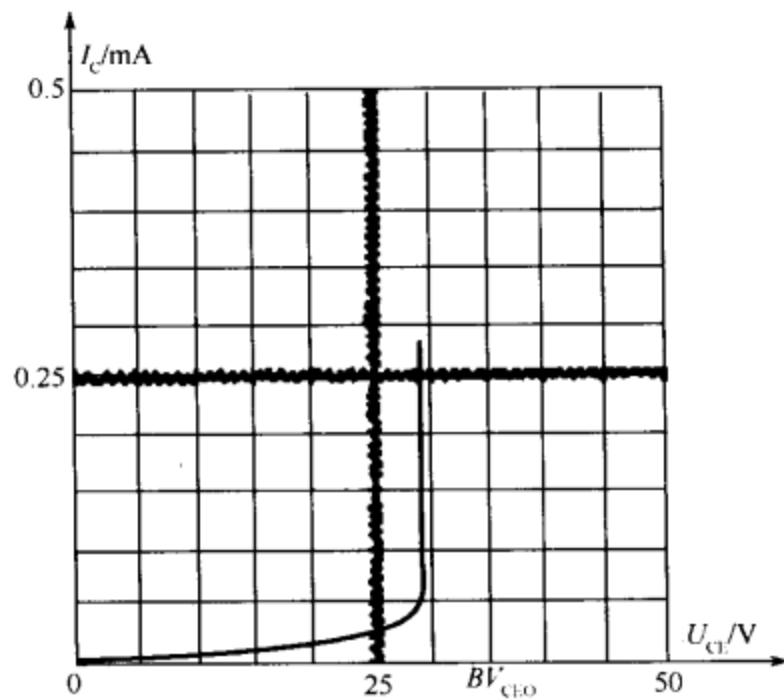


图 5-13 击穿电压 BV_{CEO} 的特性曲线

从图 5-13 可知，基极开路时，集电极与发射极之间所能承受的最高反向电压为 25V。

2. 晶体二极管的测试

以硅二极管 1N4001 为例，测定其正向特性曲线。将 Y 轴作用置于“0.2mA—V/度”；X 轴作用置于“0.1V/度”；集电极扫描信号的极性选择旋钮置于“+”；阶梯作用选择开关置于“关”；功耗限制电阻选择旋钮置于“1kΩ”；接地选择旋钮置于“发射极接地”；峰值电压范围调节旋钮置于“0V~20V”；峰值电压从零开始逐渐增加。当峰值电压从 0V~0.5V 时，即硅二极管死区电压约为 A 点电压(0.5V)，超过 A 点电压后，特性曲线接近直线，二极管处于正向导通状态，此时管压降变化不大，硅管为 0.6V~0.7V(见 B 点)，锗管为 0.2V~0.3V。硅二极管正向特性曲线如图 5-14 所示。

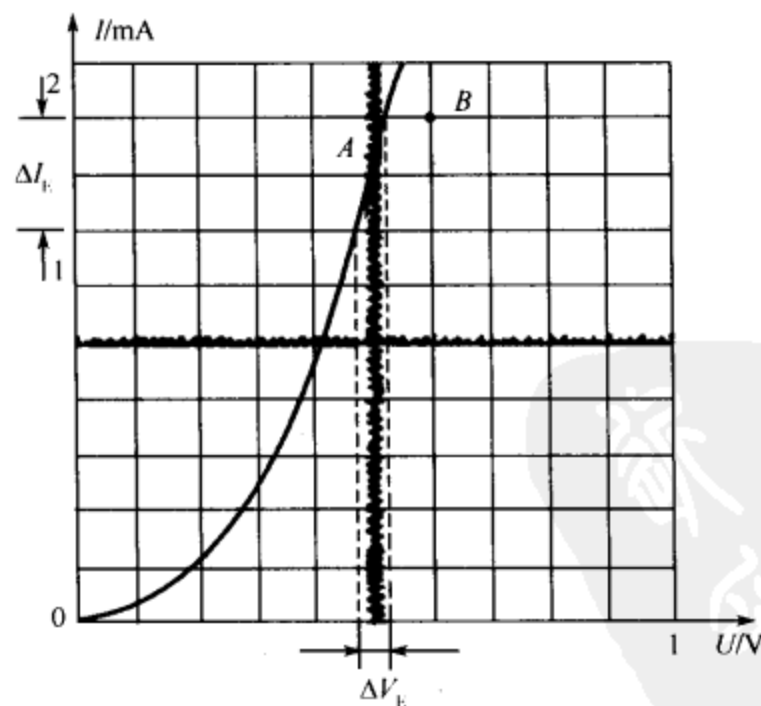


图 5-14 硅二极管正向特性曲线

第六章 信号发生器

能产生各种模拟系统和数字系统调试所需要的激励信号的电子仪器,称为信号发生器,习惯上也称为信号源。信号发生器按输出波形的不同进行分类,可分为正弦波信号发生器、脉冲信号发生器、函数信号发生器、噪声信号发生器等。信号发生器按照频率范围的不同,又可分为低频、视频、高频、甚高频、超高频信号发生器等;本章主要介绍几种常见的低频信号发生器、高频信号发生器、函数信号发生器和电视信号发生器。

第一节 低频信号发生器

低频信号发生器一般指 $1\text{Hz}\sim 1\text{MHz}$ 频段,输出波形以正弦波为主,或兼有方波及其他波形的发生器。由于电路测试的需要,频率也可向下、向上延伸至超低频和高频段。一些老式的低频信号发生器的工作频率范围仅为 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$,也称为音频信号发生器。低频信号发生器可用来测量收录机、扩音机、电子仪器、无线电接收机等装置的低频放大器的频率特性。

一、低频信号发生器的基本组成

低频信号发生器的组成一般包括振荡器、放大器、输出衰减器、输出指示电路和电源,如图 6-1 所示。

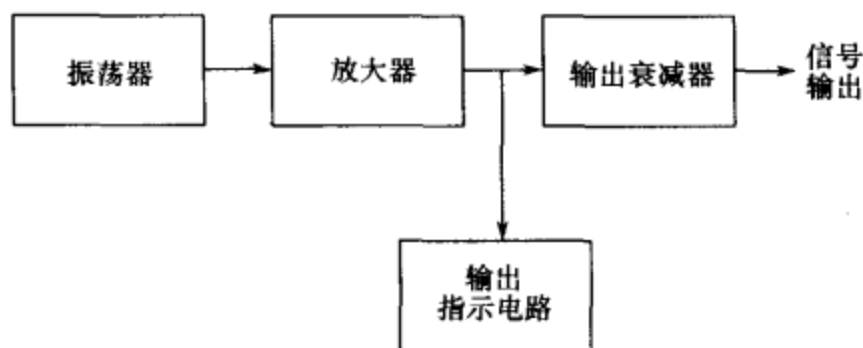


图 6-1 低频信号发生器的组成框图

1. 振荡器

振荡器用来产生低频正弦信号,决定输出频率,其振荡频率范围即为信号发生器的有效频率范围。在通用信号发生器中,振荡器通常使用 RC 振荡器,而其中应用最多的当属文氏桥振荡器。通过改变选频网络的电容器容量来改变频段,调节电位器使同一频段内的频率连续变化。这种振荡器产生的正弦波频率调节方便,可调范围较宽,振荡频率稳定,谐波失真小。

2. 放大器

振荡器产生的信号很弱,因此,必须经过放大器进行放大,以提高信号的能量。

3. 输出衰减器

输出衰减器为被测设备提供所要求的输出信号电压或信号功率,包括调整信号输出电平和输出阻抗的装置。它通常包括衰减器、匹配用阻抗变换器、射级跟随器等电路。

4. 输出指示电路

输出指示电路提供观察输出信号的装置,通常是电压表、功率表、示波器和频率计等。仪器输出特性可根据需要,由输出指示电路显示,并调整到规定的数值。

二、XD-22 型低频信号发生器的使用

XD-22 型低频信号发生器是一种多功能、宽频带的通用测量仪器,它除了产生正弦波信号外,还能产生脉冲信号和逻辑信号(即 TTL 信号、方波)。其面板图如图 6-2 所示。

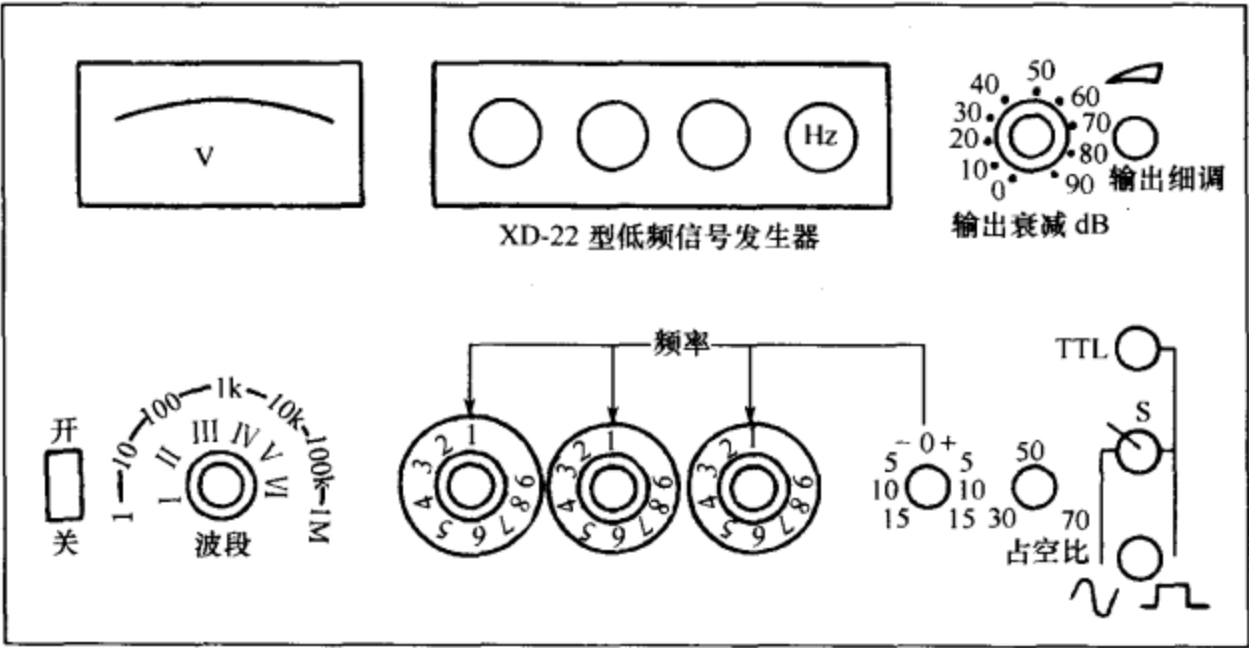


图 6-2 XD-22 型低频信号发生器面板图

XD-22 型低频信号发生器的频率范围为 1Hz~1MHz,共分成了 6 个波段,分别是:

- I 波段:1Hz~10Hz;
- II 波段:10Hz~100Hz;
- III 波段:100Hz~1kHz;
- IV 波段:1kHz~10kHz;
- V 波段:10kHz~100kHz;
- VI 波段:100kHz~1MHz。

低频信号发生器有 3 种输出信号,通过转换开关 S 进行选择。当转换开关 S 置于左边时,下面的输出孔输出正弦波信号,信号幅度大于 6V;当转换开关 S 置于右边时,下面的输出孔输出脉冲信号,信号幅度在 0V~10V 连续可调;上面的输出孔输出逻辑信号(TTL 方波信号),方波高电平幅度为 4.5V±0.5V,低电平小于 0.3V。

开机前把输出微调旋钮置于最小值处,防止开机时因起振幅度超过正常值,打弯表针;调节波段开关及各个频率转换旋钮至所需频率,频率值由数码管显示。

正弦波信号的输出电压可通过“输出衰减”和“输出细调”旋钮,根据实际需要进行调节。实际输出电压是电压表指示的电压除以被衰减的分贝数对应的电压放大倍数。

例如,把“输出衰减”旋钮置于 10dB 时,指示电压表的读数为 6V,这时的实际输出电

压是多少？

解：根据分贝数 $=20\lg A_v$ (A_v 是电压放大倍数)，可得电压放大倍数 $A_v=3.16$ 。

所以，这时实际输出电压为 $6/3.16=1.9(V)$ 。

根据计算，可得出衰减分贝数、电压衰减倍数和实际输出电压关系如表 6-1 所列。

表 6-1 衰减分贝数、电压衰减倍数和实际输出电压关系

衰减分贝数	电压衰减倍数	电压满偏时,实际输出电压	衰减分贝数	电压衰减倍数	电压满偏时,实际输出电压
0	0	6V	50	316	0.019V
10	3.16	1.90V	60	1000	0.006V
20	10	0.60V	70	3160	1.90mV
30	31.6	0.19V	80	10000	0.60mV
40	100	0.06V	90	31600	0.19mV

当输出脉冲信号时，其幅度可由衰减器和微调电位器来调节。脉冲的占空比是指脉冲电压的周期与脉冲宽度之比，调节“占空比”旋钮可以得到不同宽度的脉冲信号。

第二节 高频信号发生器

高频信号发生器是指能产生频率为 300kHz~300MHz(允许向外延伸)的正弦信号，具有一种或一种以上调制或组合调制(正弦调制、正弦调频、断续脉冲调制)的信号发生器，也称为射频信号发生器。它为高频电子电路调试提供所需的各种模拟射频信号。

一、高频信号发生器的基本组成

下面以常见的 XFG-7 型高频信号发生器为例进行介绍，其电路组成如图 6-3 所示。

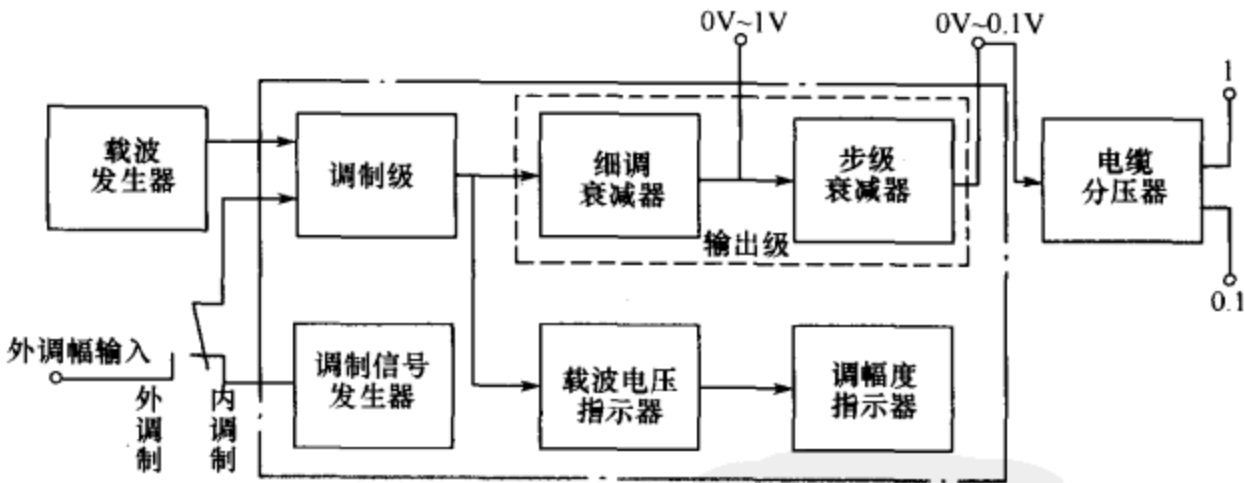


图 6-3 高频信号发生器的组成

高频信号发生器主要包括载波发生器、调制信号发生器、调制级、输出级及电源等组成。

1. 载波发生器

载波发生器也叫高频振荡器，其作用是产生高频等幅正弦波信号。它的频率范围较宽，为 100kHz~30MHz，分成 8 个波段，并通过可变电容对每个波段频率进行连续调节。

2. 调制信号发生器

调制信号分内调制信号和外调制信号两种。调制信号发生器就是产生内调制信号的，XFG-7 型高频信号发生器产生的内调制信号有 400Hz 和 1000Hz 两种。

3. 调制级

将载波振荡器产生的高频等幅波(载波)与调制信号发生器产生的音频调制信号(400Hz 或 1000Hz)同时送到调制级后,从调制级输出的就是载有音频信号(400Hz 或 1000Hz)的调制波了。调制波分调频波和调幅波,XFG-7 型的调制级输出的是调幅波。对调幅波来说,有个调幅度(或叫调幅系数)的概念,调幅度 M 可由下式表示,即

$$M = \frac{\Delta U}{U} \times 100\%$$

式中: ΔU 表示已调幅波电压幅度的变化量; U 表示载波电压的幅度值,如图 6-4 所示。XFG-7 型高频信号发生器的调幅度为 0~100%。调幅度这个百分数大,表示这个信号发生器的功率大、性能好。在具体使用时,可根据情况来调幅度的大小。

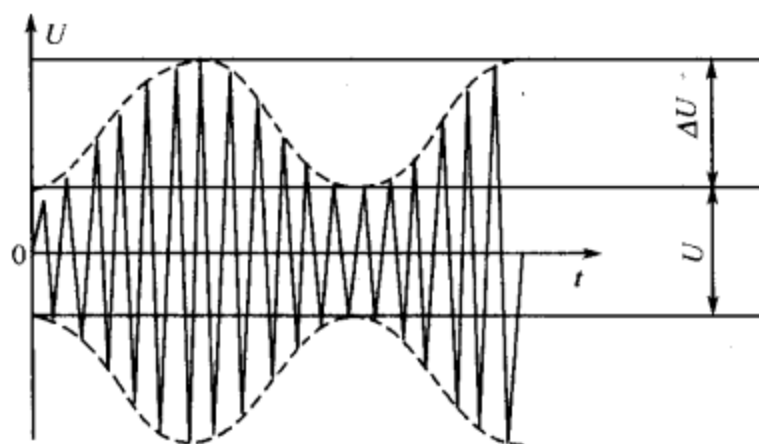


图 6-4 调幅波

4. 输出级

输出级的作用是对调制信号进行放大和滤波,在此基础上通过衰减器对输出电平进行较大范围的调节和输出阻抗的变换,以适应各种不同的需要。

输出级的后面还有一个“电缆分压器”,这不是信号发生器的一个组成部分,而是仪器带的 1 根输出用电缆线,其上带有分压器,所以叫“电缆分压器”。电缆分压器是为了获得更小的输出电压用的,分压器的分压比是 1:1 和 1:10,即对应于电缆接线柱上标有“1”和“0.1”字样,经 1:10 分压后,在“0.1”处可以得到最小输出电压 0.1μV。

二、XFG-7 型高频信号发生器的使用

1. 性能指标

(1) 频率范围。100Hz~30MHz,共分 8 个频段。

(2) 频率刻度误差。±1%。

(3) 输出阻抗与输出电压。在“0V~0.1V”插孔中,接有分压电阻的电缆终端输出为接点“1”,输出电阻为 40Ω,输出电压 1μV~100000μV 连续可调。接点“0.1”输出电阻为 8Ω,输出电压 0.1μV~10000μV 连续可调。在“0V~1V”插孔中,开路输出电压为 0V~1V 连续可调,输出电阻为 400Ω。

(4) 调制频率。

内调制:400Hz、1000Hz。

外调制:载波频率为 100kHz~400kHz 时,由 50Hz~400Hz 进行外调制;载波频率

大于 400kHz 时,可由 50Hz~8000Hz 进行外调制。

重点提示 若使用带分压器的电缆输出,在“1”端输出,信号不衰减,为 $1\mu\text{V}\sim 10^5\mu\text{V}$ (0.1V),输出阻抗为 40Ω ;在“0.1”端输出,信号衰减 10 倍,为 $0.1\mu\text{V}\sim 10^4\mu\text{V}$ (0.01V),输出阻抗为 8Ω 。实际上,带分压器的电缆一般情况下用不上,因为灵敏度较高的收音机接收的电波的强度也在 $100\mu\text{V}$ 以上,用 $0\text{V}\sim 0.1\text{V}$ 孔就可以了。

2. 面板说明

XFG-7 型高频信号发生器的面板如图 6-5 所示。

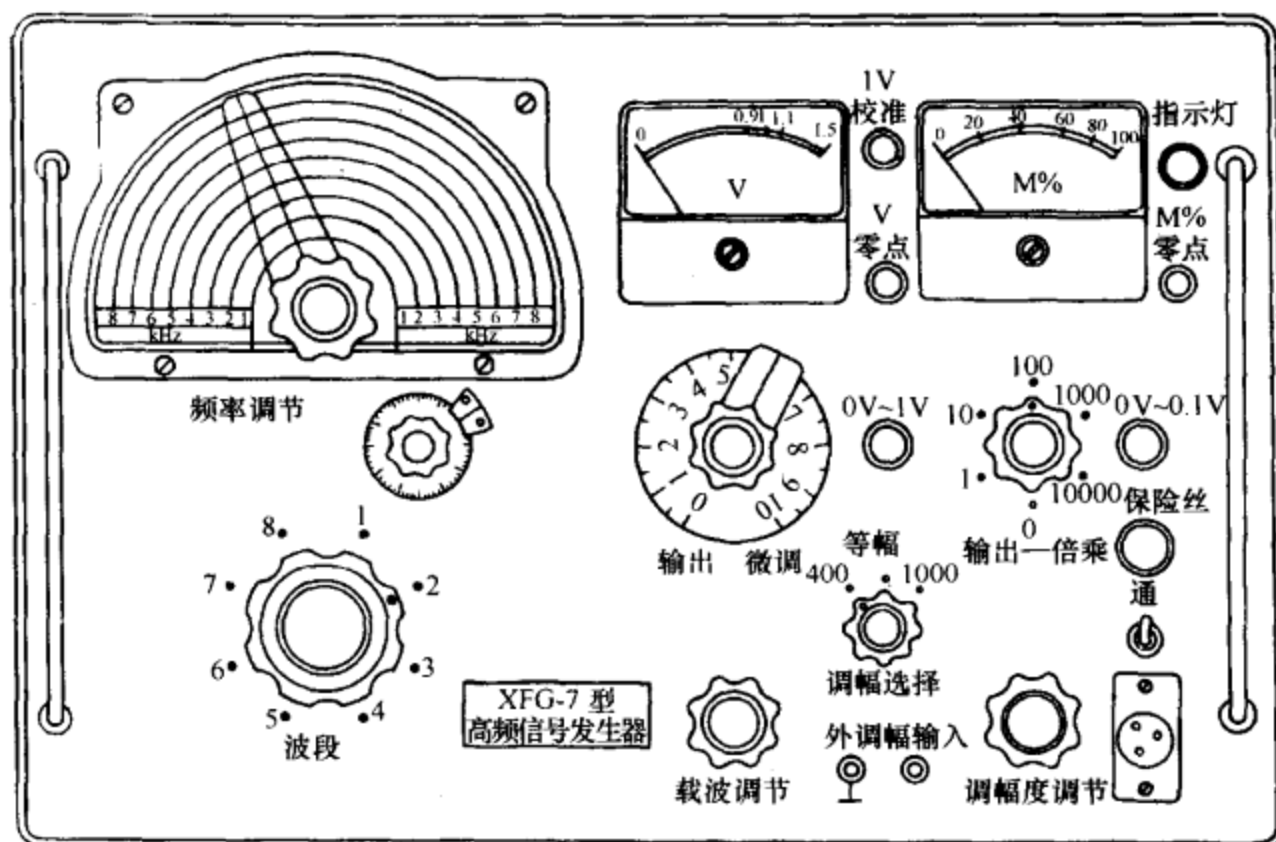


图 6-5 XFG-7 型高频信号发生器的面板

(1)“波段”开关。改变载波发生器振荡回路的电感线圈,以改变其工作波段。共分成 8 个波段,分别与频率刻度盘上的 8 条刻度线相对应。

(2)“频率调节”旋钮。改变载波发生器的可变电容,以便在每个波段中连续的改变振荡频率。使用时,先调节带指针的粗调旋钮,调到需要的频率附近时,再利用微调旋钮调节到准确的频率上。

(3)“载波调节”旋钮。改变载波电压的幅度,使电压表指示在 1V 的红线上。

(4)“输出—微调”旋钮。改变输出信号的幅度,它共分 10 大格,每大格又分 10 小格。

(5)“输出—倍乘”开关。用以改变输出电压的步进衰减器,分 1、10、100、1000、10000 5 挡。当电压表准确地指示在“1V”红线上时,从“0V~0.1V”插孔输出的信号电压,就是“输出—微调”旋钮上的读数与这个开关上倍乘数的乘积。单位为微伏(μV)。

(6)“调幅选择”开关。用以改变内调制信号的振荡频率。它分 3 挡:400、1000 和等幅,在“400”和“1000”挡时,仪器分别输出载有 400Hz 和 1000Hz 的音频信号的高频调幅信号;在“等幅”挡时,仪器输出高频等幅波信号。

(7)“调幅度调节”旋钮。用以改变调制信号发生器产生的音频信号(400Hz 和 1000Hz)的幅度。当载波频率电压表“V”指示在 1V 时,改变音频信号的幅度,就改变了输出的调幅波的调幅度,在“M%”调幅度表上显示出来。

(8)“0V~1V”输出插孔。从该孔可输出 0.1V~1V 的信号电压。这时应调“载波调节”旋钮,须将电压表指在“1V”红线上;将“输出—微调”旋钮转至“1”处,就得到 1V 的电压,以此类推。

(9)“0V~0.1V”输出插孔。从这个孔输出的信号电压为“输出—微调”和“输出—倍乘”开关两指示值的乘积,单位是 μV 。这时仍需要调“载波调节”旋钮,使电压表指示在“1V”红线上。例如,“输出—微调”旋钮指 6.6 格,“输出—倍乘”开关指在“10”上,则输出电压为 $6.6 \times 10 \mu\text{V} = 66 \mu\text{V}$ 。当调“输出—微调”旋钮时,电压表的指示可能偏离“1V”红线,要再调“载波调节”,重新调到“1V”处。

(10)电压表“V”。指示载波信号输出的电压值。只有指在“1V”红线处,才算准确,在其他刻度时误差太大,所以上面特别强调要将其调到“1V”红线处。

(11)调幅度表“M%”。指示输出信号的调幅度。对内调制和外调制的调幅度都有效。最常用的调幅度为 30%,所以那里有红线刻度。

(12)“V 零点”旋钮。调节电压表的零点。

(13)“1V 校准”电位器。校准电压表的红线处“1V”。平时用螺帽盖,不能随意旋动。

(14)“外调幅输入”接线柱。如需要 400Hz 和 1000Hz 以外的调幅波,可由此输入其他音频信号。外调制信号应具有 0.5W 以上的功率。

3. 使用方法

(1)接通电源前,应检查两个表头“V”和“M%”的指针是否指零点,可调“机械调零”电位器。

(2)将各旋钮置起始位置,即将“载波调节”、载波输出“微调”、“倍乘”、“调幅调节”各旋钮都反时针旋到底。

(3)高频等幅输出。

①“调幅选择”开关置于“等幅”。

②接通电源,预热 30min。

③将“波段”置于任意两挡之间(空挡),使振荡器不工作,这时,如果表头“V”有指示,说明零点没有调好,应调节“V”零点电位器,使指针指零。调好零点后,将“波段”开关拨到所需波段。

④用“调谐”旋钮调节至需要的频率。

⑤调节“载波调节”旋钮,使伏特指针指“1”(红线处)。

若要求输出大于 0.1V,应选“0V~1V”插孔。若要求输出在 0.1V 以下,应选“0V~0.1V”插孔。在根据所需输出电压选择输出插孔时,应调节“输出—倍乘”及“输出—微调”旋钮,必须使电压表“V”指针指在“1”上。例如,如输出“0V~0.1V”插孔,“输出—倍乘”指 10,“输出—微调”指 2,则在电缆终端 0.1 处的输出电压是 $10 \times 2 \times 0.1 = 2(\mu\text{V})$;在电缆终端 1 处的输出电压是 $10 \times 2 \times 1 = 20(\mu\text{V})$ 。

(4)调幅波输出。

①内调节。“调幅选择”放在“400Hz”或“1000Hz”处。调节“调幅度调节”由 M% 表直接按指示调幅度。一般在 30% 调幅度的调幅波用得较多。

②外调制。“调幅选择”置于“等幅”位置。由外“外调幅输入”接入外部音频(低频)信号源。信号源必须在 $20\text{k}\Omega$ 负载上能有 100V 电压输出,才能在 50Hz~8kHz 范围内达到

100%的调幅。

三、应用举例

下面以调收音机的频率范围为例,说明高频信号发生器的应用。

调整收音机的频率范围的目的,是为了让收音机每个波段的频率覆盖都达到规定的范围,并使所接收的频率与刻度盘上的频率标志一致。现以调中波段的频率范围为例进行说明。

调幅收音机中波段的频率范围规定为 535kHz~1605kHz,定型产品一般把中波的频率范围的覆盖面设计在 515kHz~1640kHz,留有一定的余量。

调整频率范围方法如下:按图 6-6 所示连接仪器和被调收音部分,把高频信号发生器输出的调幅信号接入具有开缝屏蔽管的环形天线,天线与被测收音部分天线磁棒距离为 0.6m。

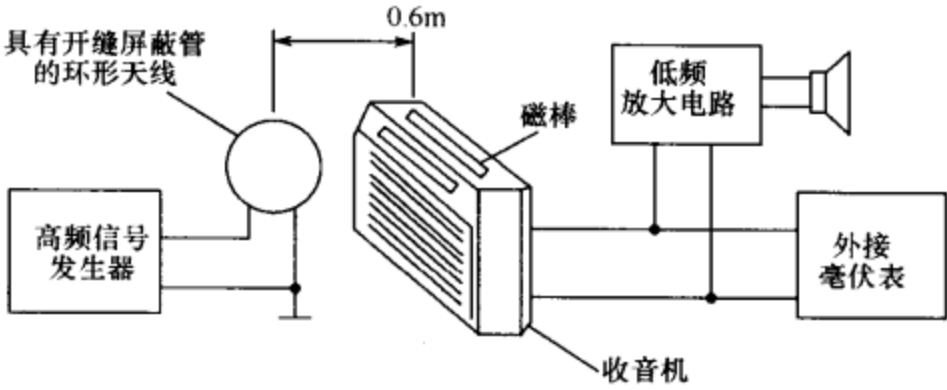


图 6-6 高频信号发生器与收音机部分的连接

通电,把双连电容器全部旋入时,外接毫伏表指针应指在刻度盘起始点。然后将高频信号发生器调到 515kHz,用无感改锥(有机玻璃或竹片制成)调整振荡线圈的磁芯,如图 6-7 所示,使外接毫伏表的读数达到最大。然后将高频信号发生器调到 1640kHz,把双连可变电容器全部旋出(顺时针旋到底),用无感改锥调并联在振荡连上的补偿电容器,使毫伏表读数最大。如收音部分高频端频率高于 1640kHz,可增大补偿电容的容量。若高频端频率低于 1640kHz,则应减小补偿电容的容量。用上述方法由低端到高端反复调整几次,直到频率范围调准为止。

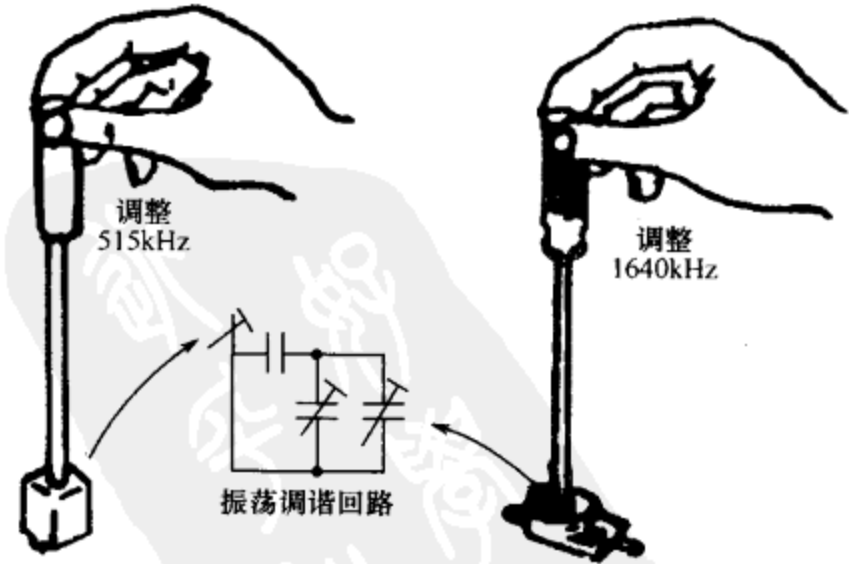


图 6-7 调整频率范围方法示意图

重点提示 一般收音机的灵敏度为 $100\mu\text{V}\sim 200\mu\text{V}$ 。因此,若高频信号发生器输出的高频调幅信号为 $200\mu\text{V}$ 左右,就可能会听到从收音机喇叭里发出的声音(400Hz 或 1000Hz 的直叫声);如果用电子毫伏表测喇叭处的音频电压,在 300mV 左右。

从高频信号发生器中输出 $200\mu\text{V}$ 的高频调幅信号的方法是:将高频信号发生器的“0V~0.1V”输出孔通过同轴电缆接一环形天线,将“输出—微调”旋钮置于“2”处。将“输出—倍乘”开关置于“100”处,输出电压就是 $2\times 100\mu\text{V}=200\mu\text{V}$;若输出电压还不够强(收音机灵敏度低,发出的声音很弱或听不到),再将“输出—微调”旋钮置于 3 格、4 格、5 格,直到从收音机里听到高频信号发生器所发出的声音。

第三节 函数信号发生器

函数发生器是一种多波形信号源,它能产生某种特定的周期性时间函数波形。工作频率从几毫赫直至几十兆赫。一般能产生正弦波、方波和三角波,有的还可以产生锯齿波、矩形波(宽度和重复周期可调)、正负尖脉冲等波形。函数发生器均有直流偏置功能,使用者对函数发生器的输出能增减直流电平,以产生不同直流分量的波形。不同的函数发生器还分别具有调制和扫频的能力,因而可成为低频扫频信号源。函数发生器能在生产、测试、仪器维修和实验时作信号源使用。

产生信号的方法有 3 种:第 1 种是用施密特电路产生方波,然后经变换得到三角波和正弦波;第 2 种是先产生正弦波再得到方波和三角波;第 3 种是先产生三角波再转换为方波和正弦波。

下面以岩崎 GFC8255A 函数发生器为例,简要地介绍函数发生器的使用方法。

一、岩崎 GFC8255A 函数发生器功能和性能指标

1. 基本功能

岩崎 GFC8255A 函数发生器可以产生高达 5MHz 的信号,广泛适用于音频响应测试、振动测试、超声波应用等。具有以下基本功能。

- (1) 低失真波形(正弦、三角和方波)以及斜波信号。
- (2) 具有对数和线性扫频、频率计。
- (3) $0.5\text{Hz}\sim 5\text{MHz}$ 之间 7 个量级的信号输出。
- (4) 在对数或线性扫频模式下可调节扫频时间和扫频宽度。
- (5) 具有信号翻转的占空比控制能力。
- (6) 外部电压控制频率。
- (7) 具有内部或外部控制的幅度(AM)或频率(FM)调制模式。
- (8) 具有 TTL 秒信号输出或可调节 CMOS 脉冲。
- (9) 具有 DC 偏移调节的和 20dB 衰减的 50Ω 主信号输出。
- (10) 提供两个 BNC 测试线和 AC 电源插座。

2. 基本技术指标

- (1) 频率范围。 $0.5\text{Hz}\sim 5\text{MHz}$ (7 级)。
- (2) 幅度。 $\geq 10\text{V}$ (峰峰值)(50Ω 负载)。

- (3)阻抗。 $50\Omega \pm 10\%$ 。
- (4)直流偏移。 $-5V \sim 5V$ (50Ω 负载)。
- (5)衰减。 $-20dB \pm 1dB \times 2$ 。
- (6)显示。6 位数字 LED 显示。
- (7)占空比控制。 $80\% \sim 20\%$ 连续可调。
- (8)电源。 $AC\ 230V \pm 15\%$, $50/60Hz$ 。

二、岩崎 GFC8255A 函数发生器的使用

岩崎 GFC8255A 函数发生器的面板如图 6-8 所示。

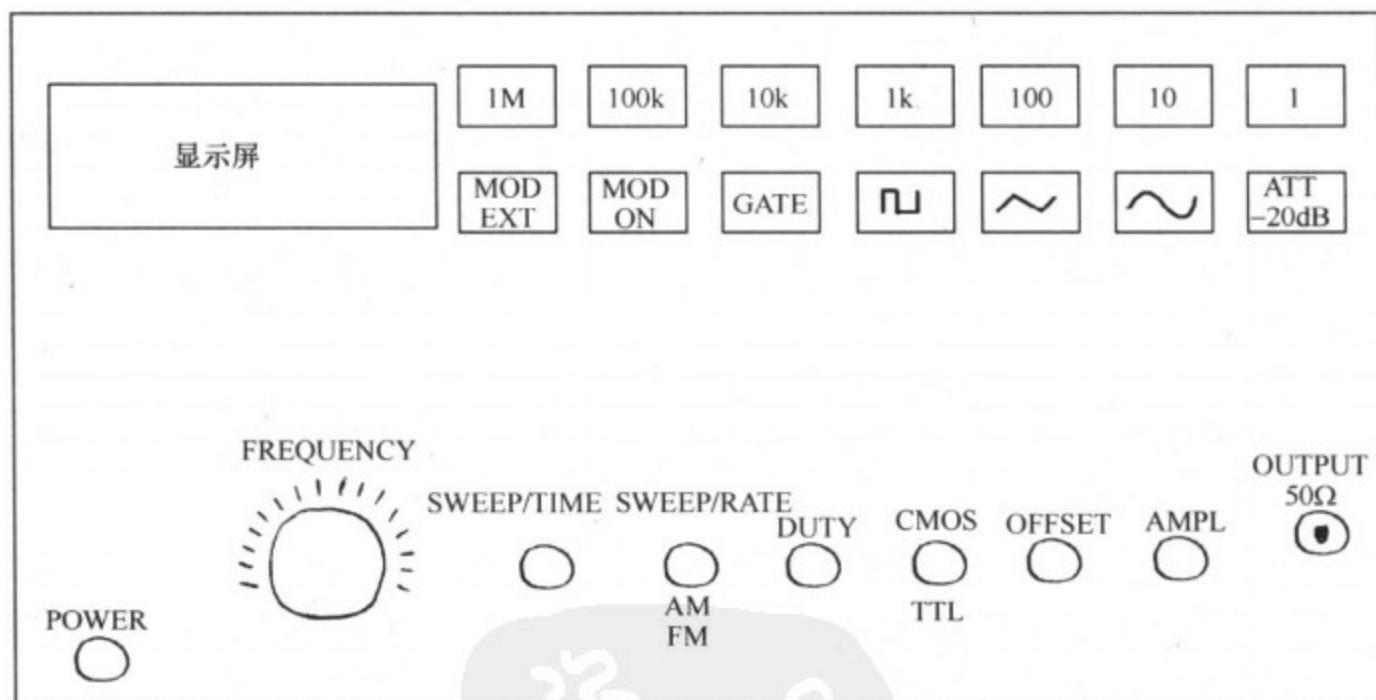


图 6-8 岩崎 GFC8255A 函数发生器面板

1. 检查

- (1)确保电源电压与其电压兼容。仪器要求的 AC 电压标在后面板上。
- (2)用电源线将仪器连接到电源上。
- (3)按下电源开关 POWER,确保所有的旋钮都在按下状态,然后旋转幅度调整按钮 AMPL,使指示上涨。

2. 输出三角波、方波和正弦波

(1)先按下对应的波形选择键,并选择输出波形的频率范围,然后旋转 FREQ 钮设置所需的频率(从显示窗读出)。

(2)将主输出端连接到示波器或其他实验电路,以观察输出信号。

(3)旋转 AMPL 钮,控制波形的幅度。

(4)如果需要衰减输出,可以拉出 AMPL 钮得到 20dB 的衰减,或者按下 ATT-20dB 键再衰减 20dB。

3. 输出脉冲波

(1)先按下脉冲波选择键,并按下适当的频率范围选择键以选择频率范围,旋转 FREQ 钮设置所需的频率(从显示窗读出)。

(2)将主输出端连接到示波器,以观察输出信号。

(3)拉出并旋转占空比旋钮 DUTY,调节脉冲波的宽度。

(4)旋转 AMPL 钮控制脉冲波的幅度。

(5)拉出 AMPL 钮得到 20dB 的衰减,或者按下 ATT-20dB 键再衰减 20dB。

4. 锯齿波

(1)先按下锯齿波选择键,并按下适当的频率范围选择键以选择频率范围,旋转 FREQ 设置所需的频率(从显示窗读出)。

(2)将主输出端连接到示波器,以观察输出信号。

(3)拉出并旋转占空比旋钮 DUTY,调节锯齿波的斜率。

(4)旋转 AMPL 钮控制脉冲波的幅度。

(5)拉出 AMPL 钮得到 20dB 的衰减,或者按下 ATT-20dB 键再衰减 20dB。

5. TTL/CMOS 信号输出

(1)先按下适当的频率范围选择键以选择频率范围,旋转 FREQ 钮设置所需的频率(从显示窗读出)。

(2)将仪器后面板上的 TTL/CMOS 的输出连接到示波器或其他实验电路,以观察输出信号。

(3)默认输出的是 TTL 逻辑电平。

(4)如果需要 CMOS 电平的方波,可以拉出 CMOS 钮来调节电压幅度。

6. 压控频率变化

该模式下,用户可以根据外部 DC 控制电压来调节函数发生器的频率。

(1)先按下对应的波形选择键选择函数,再按下适当的频率范围键选择频率范围,旋转 FREQ 钮设置所需的频率(从显示窗读出)。

(2)将外部控制电压($0V \pm 10V$)通过合适的导线连接到仪器后面板上的 VCF 输入端,则将从输出端 GCV 得到所需的信号。

(3)其他调节。例如,AMPL 钮可以改变信号的幅度或衰减信号;偏移 OFFSET 可以调节 DC 电平;旋转占空比钮 DUTY 可以改变脉冲信号或锯齿信号的输出等。

7. 自动扫频

(1)先按下对应的波形选择键选择函数,再按下适当的频率范围键选择频率范围,旋转 FREQ 钮设置所需的频率(从显示窗读出)。

- (2)将主输出端连接到示波器,以便观察输出信号。
- (3)旋转频率钮 **FREQ** 设置上限频率。
- (4)拉出频率钮 **FREQ** 实现自动扫频操作。
- (5)旋转扫频时基钮 **SWEEP/TIME** 和扫频速率钮 **SWEEP/RATE** 调节扫频时间和扫频速率。
- (6)拉出(按下)线性/对数钮(**SWEEP/TIME** 钮)得到对数(线性)扫频模式。

8. AM/FM 操作

- (1)先按下对应的波形选择键选择函数,再按下适当的频率范围键选择频率范围,旋转 **FREQ** 钮设置所需的频率(从显示窗读出)。
- (2)将主输出端连接到示波器,以便观察输出信号。
- (3)按下(拉出)调制键 **MOD** 并拉出(按下)调制钮(**SWEEP/RATE** 钮),得到 FM/AM调制模式。

注意事项如下。

- ①调节直流偏移,可以在 $\pm 10\text{V}$ (无负载)或 $\pm 5\text{V}$ (50Ω 负载)范围内。但是,增加直流电平后的信号仍然限制在 $\pm 20\text{V}$ (无负载)或 $\pm 10\text{V}$ (50Ω 负载)范围内。如果超过规定的电压,将出现峰顶(正偏移)或峰底(负偏移)切割。
- ②输出端标明为 50Ω 负载,表示信号源的阻抗是 50Ω 。允许连接到其他阻抗的电路,但输出电压和端口阻抗将改变。为了避免出现振荡,端口最好以 50Ω 阻抗连接(再使用高频和方波输出时),并且连接线尽可能短。
- ③当调节占控比的旋钮向左边位置旋转时,正状态到负状态的比例扩展不小于 $80:20$ 。可以将方波扩展为脉冲波,三角波扩展为锯齿波,正弦波扩展为不对称正弦波。按下(拉出)调制键 **MOD** 并拉出(按下)调制钮(**SWEEP/RATE**),得到 FM/AM 调制模式。

第四节 彩色电视信号发生器

彩色电视信号发生器是一种能够产生各种不同兼容性射频(RF)信号和音视频(AV)信号的专用仪器,可输出黑白和彩色 75Ω 的视频信号,并将视频信号以 VHF 或 UHF 的载频调制方式输出或利用室内天线向空间发射,便于检修、调整电视机。下面重点以 S305A 型全频道彩色电视信号发生器为例进行介绍,其面板结构如图 6-9 所示。

一、AV 信号输出的选择

1. 射频信号输出

由 AV 信号合成为 RF 信号,经 VHF/UHF 全频道选择按钮进行频段选择,然后用带有鳄鱼夹的输出电缆插到 VHF 或 UHF 射频输出端,鳄鱼夹子夹住电视机天线,用来测试高频头、中放、视放和伴音通道。

VHF 射频有 1 个~12 个频道供选择; 75Ω 电子圆调制;输出幅度 $>50\text{mV}$;按下“V 关”按钮,V 信号消失。

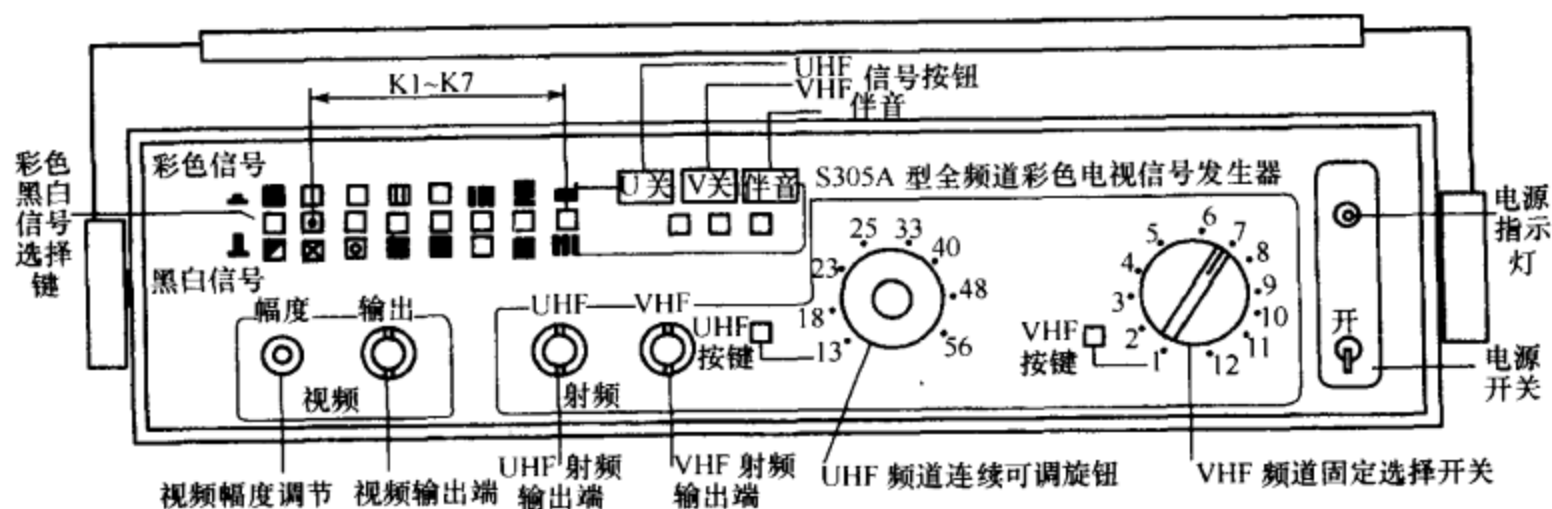


图 6-9 S305A 型全频道彩色电视信号发生器面板图

UHF 射频有 13 个~56 个频道连续可调;75 Ω 电子圆调制;输出幅度 $>100\text{mV}$;按下“U 关”按钮,U 信号消失。

2. 视频信号输出

视频(V)信号输出幅度为 0V~3V(峰峰值),可调,出厂时已调在 1V(峰峰值),若要不同的幅度,可调“视频幅度”电位器选取,输出阻抗为 75 Ω ;视频输出的正负信号极性可由后面板上的拨动开关来选择。

3. 伴音信号输出

按下“伴音”按钮,在输出射频和视频信号中就带有经 6.5MHz 调频的 1kHz 伴音(A)信号,频偏 $\Delta f \pm 50\text{kHz}$ 。如需外接伴音,可经插头从后板“外伴音接入”端引入,这时内部的 1kHz 伴音信号自动停振。外伴音输入可在 20mV~110mV(峰峰值)范围内选择,阻抗约 500 Ω 。

二、Y/C 信号输出的选择

1. 黑白(Y)信号输出

彩色、黑白信号选择键为弹出状态。提供从黑到白的灰度等级,可供黑白机调试与维修。

(1)按下 K1 键。屏幕出现水平为 16 格垂直为 12 格的棋盘。

(2)按下 K2 键。屏幕出现以格子中心内基准,上下左右约 4 格半的电子圆(和格子叠加显示),不圆度 $\leq 10\%$ 。

(3)按下 K3 键。屏幕出现由竖 16 线、横 11 线组成的格子。

(4)按下 K4 键。显示 16 线竖条。

(5)按下 K5 键。显示 12 线横条。

(6)按下 K6 键。显示从白到黑(由上到下)分 9 个级别的横灰度阶梯。

(7)按下 K7 键。显示从白到黑(由左至右)分 8 个级别的竖灰度阶梯。

2. 彩色(C)信号输出

选择键为按下状态。提供 4.43 MHz 的副载波,180 $^{\circ} \pm 45^{\circ}$ 的色同步相位和 8 个竖直的标准彩条信号,可供彩电机调试与维修。

(1)按下 K1 键。屏显幅度 F 为 ± 0.474 、相位 ϕ 为 103.5° 的红色场。

(2)按下 K2 键。屏显幅度 F 为 ± 0.443 、相位 ϕ 为 240.7° 的绿色场。

(3)按下 K3 键。屏显幅度 F 为 ± 0.336 、相位 ϕ 为 347.1° 的蓝色场。

(4)按下 K4 键。屏显带有色同步的 100% 亮度(Y)信号的白色场。

(5)按下 K5 键。屏显四矢量信号构成的 4 个方块图,即 $-(B-Y)$ 、相位 ϕ 为 180° 时为黄偏绿; $-(R-Y)$ 、相位 ϕ 为 270° 时为青偏绿; $+(R-Y)$ 、相位 ϕ 为 90° 时为红偏紫; $+(B-Y)$ 、相位 ϕ 为 0° 时为蓝偏紫。

(6)按下 K6 键。屏显特殊测试图,其色差信号构成均和上述四矢量信号构成基本相同,在图画中间 1/3 场的时间内,色度信号再附加移相 90° ,而色同步信号不移相。

(7)按下 K7 键。屏显彩色幅度为 75%、色饱和度为 100%、白基准为 100% 的 8 个竖直标准彩条信号。

三、应用举例

各种视频信号特殊图案如图 6-10 所示,可用于黑白机和彩色机的调试和故障鉴别。

1. 黑白测试信号

(1)方格、垂直条、水平条、圆信号。这些信号用于检测图像的几何失真、非线性失真、幅度和中心位置等,尤其可用来检查彩电各处的会聚、色纯和消色电路的工作情况。

例如,观察上下左右的亮线可知动会聚的情况;观察中央的亮线可知静会聚的情况。在动、静会聚良好的情况下,横、竖及圆的亮线应该是无色的;若横条两端略带色彩,表明边沿部分的动会聚稍差一点,这是允许的;若分裂成红、绿、蓝 3 条线,则表明动会聚严重失聚;若竖条上、下端均带同一颜色,并不是失聚,而是末级视放频带过窄引起的。正常时,整屏应出现无色背景(除蓝屏底色外),若屏幕出现某种色彩,表明白平衡未调好;若出现彩色,则表示色纯存在问题;若竖条亮线右侧出现彩色拉丝,表明亮度信号中串入色彩;若输入黑白信号,消色器应起消色作用,屏幕应呈现黑白光栅,若调节色饱和度电位器都不应该出现色噪声,否则消色电路存在问题,色度通道没有截止。

(2)方格加圆、棋盘信号。这些信号可用来检查图像变形和视频放大器的瞬态响应。

例如,调节场线性和场幅度电位器,使图像中央大圆为正圆,圆外方格为大小均匀的正方形,在单独显示棋盘时也应如此。否则,应通过行、场调节,并改变逆程电容或 S 矫正电容的容量,使中央大圆水平方向与垂直方向直径比小于 15:16;相邻两个最宽与最窄方格(包括棋盘,也叫黑白方格)宽度之差不超过行为 2.5mm、场为 2mm 的规定值,这样图像的非线性失真基本达到要求。

(3)灰度阶梯信号。该信号有竖条和横条两种,都是用来检查视放和中放是否工作在线性段,有无非线性失真。

例如,调节黑白机的亮度或对比度电位器,应至少能明显区分从左到右由白到黑的 6 个灰度等级,若经过认真细调能有 10 个灰度等级,表明亮度鉴别等级能达到 7 级以上。在彩色机中可通过检查和调整白平衡也应使灰度等级达到要求,并且灰度等级每个阶梯上都不应出现彩色。荧光屏上分清的灰度等级数越多,说明电视机所呈现的图像层次越丰富、立体感越强、画面效果越逼真。

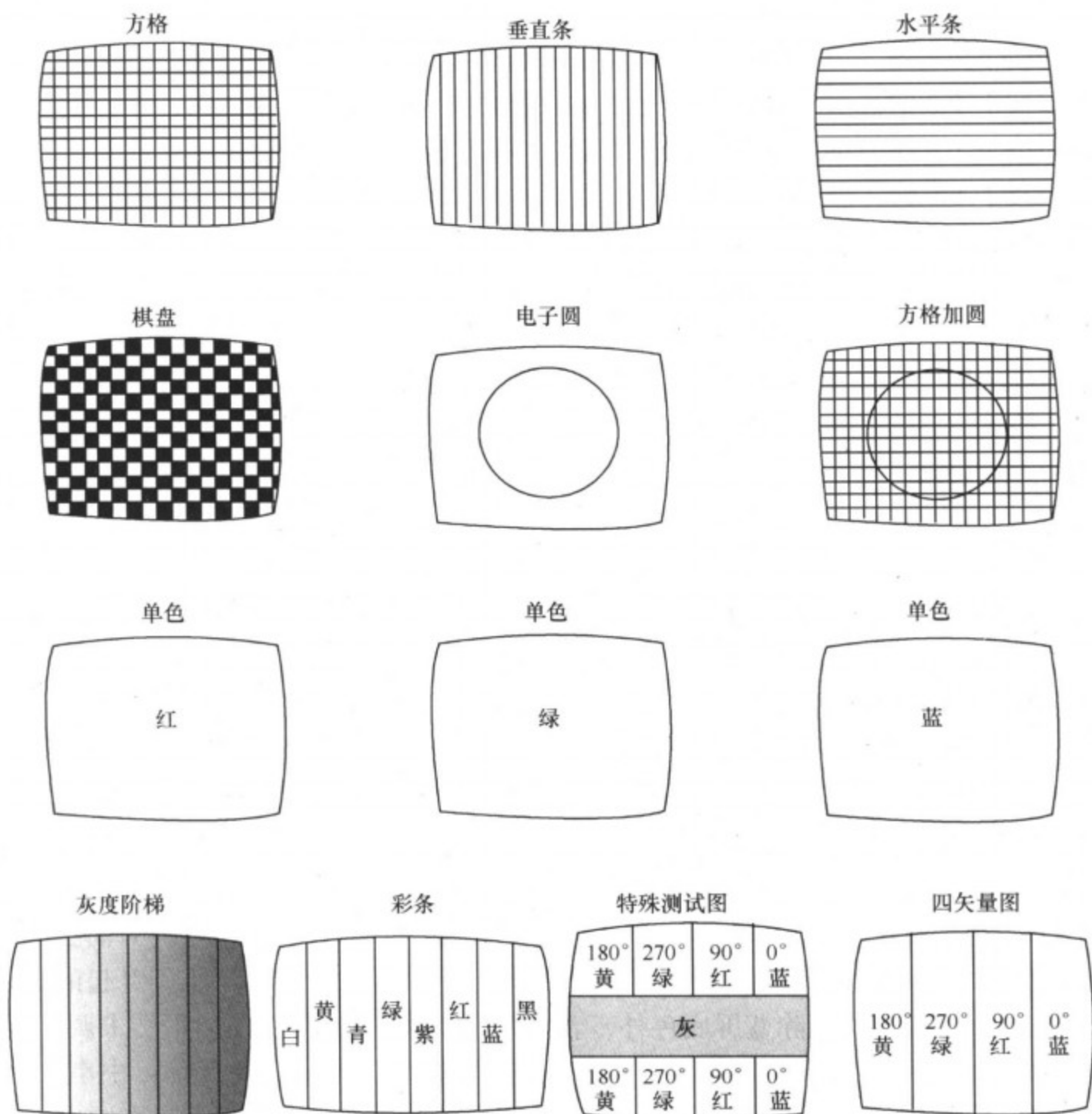


图 6-10 各种视频信号特殊图案

2. 彩色测试信号(PAL 制)

(1)单彩色信号。该机可输出红(R)、绿(G)、蓝(B)3个单彩色信号,用于检测彩管三基色的色纯度。

例如,试将其中两个电子束截止,而仅由一个电子束扫描,荧光屏应显示颜色纯正的单彩色信号。若扫描出现偏差,则局部颜色不纯,可反复切换3个单色信号,有利于检查3个电子束的扫描情况。若截止其中一个电子束,让两个单色信号同时输出,可分别观察到它们的混色:黄、青、紫;若让3个单色信号同时输出,则可得到白色(亮度信号Y)。

(2)彩条信号。按下“彩条信号”开关 K7 键,彩屏上显示标准的八彩条,有经验的维修人员往往根据其中彩条的异变,可迅速而准确地判断故障所在部位。

例如,在黑白图像中,若缺少红色,白色将变成青色;若缺少绿色,白色将变成紫色;若缺少蓝色,白色将变成黄色;在彩色图像中,若缺少红色,人物的面孔将变成暗青色。

(3)四矢量图。四矢量图是一种具有特定相位的4种色信号,在方格加电子图测试圆

中分别显示在 4 个角上,而在荧光屏显示的另一种方式是形成 4 条宽度均等的彩带。

例如,当延时解调器的相位调整不正确时,在色带中会出现另一种色线,如青(绿)带内会出现黄线,红带内会出现蓝线等;当 PAL 开关有故障时,则中间两条色带的色调会发生异变。

(4)特殊测试图。该图是在四矢量图的基础上组成的。

例如,如果延时解调器和同步解调器正确,则应在黄、绿、红、蓝四色带中间 $1/3$ 场区域内呈现出均匀的灰色横条,否则将产生串色和爬行的故障现象。



第七章 失真度测量仪、逻辑分析仪 和直流稳压电源

失真度测量仪主要用途为测量音频信号的谐波失真程度;逻辑分析仪主要用来对数字电路进行分析和测试;而直流稳压电源的作用则是为电子设备提供稳定的直流电压。本章将对上述 3 种仪器进行简要分析和介绍。

第一节 失真度测量仪

失真度测量仪主要用来测量波形失真。什么是波形失真呢?信号通过电路后,其输出波形和输入波形不同,失去了信号波形原有的形状,就叫波形失真。产生波形失真的根本原因是信号通过的电路具有非线性作用。像二极管、三极管、变压器等,这些电子元件都具有非线性,因此,由这些元器件组成的电路、放大器就具有了非线性作用。所以,波形失真又叫非线性失真。低频信号通过电路时引起的非线性失真较大,高频信号通过电路时引起的非线性失真相对较小。

在低频电子线路中,对波形失真(非线性失真)是有一定要求的,超过了这个要求就说明这个电子线路(如放大电路)不合格。例如,输送到收音机喇叭中的信号就是这种输出信号,这个输出信号的非线性失真若很严重,超过了技术要求,质量就不好,声音就难听。为了测量这种失真的大小,就需要规定一个衡量失真大小的参量,这个参量就叫非线性失真系数,简称失真度。失真度用 d 表示,则

$$d = \frac{u'}{u}$$

式中: u 是输出信号的总电压的有效值; u' 是从输出信号总电压中滤除基波分量后的电压有效值。因此,只要测出 u' 和 u , 就可以测出失真信号的失真度了。

一、失真度测量仪主要组成

失真度测量仪由输入电路、滤波电路和电压表 3 个基本部分组成,如图 7-1 所示。其中的滤波电路是用来滤除基波分量的。当开关 S 置于 1 位置时,电压表读数即为被测信号总电压的有效值 u ;当开关 S 置于 2 位置时,电压表读数就是从总电压中滤除基波分量后的电压有效值 u' 。因此,测量出 u 和 u' 就是测量信号的失真度。

图 7-1 中的“校准电位器”是为了让电压表的指示为一个确定的值,具体说就是让电压表的指示为 1V(即 100%)。调节方法是:将开关 S 置于 1 的位置,调这个“校准电位器”,就能让电压表的指示为 1V,这就是校准。然后,再将开关 S 置于 2 的位置,这时电压表的指示就很小了。例如,为 0.05V。实际上,当电压表校准后,开关 S 再置于 2 时,电压

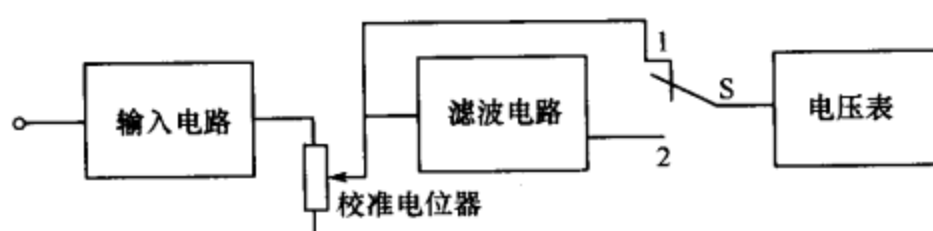


图 7-1 失真度测量仪的主要组成

表指示的 0.05V 这个数,就是失真度的值了,即失真度为 5%。

二、BS1 型失真度测量仪的技术性能

BS1 型失真度测试仪采用全晶体化电路。其主要用途为测量音频信号的谐波失真程度,最小失真度可测到 0.03%。此外,还可单独作为平衡或不平衡晶体管电压表,测试交流电压和噪声。BS1 型失真度测量仪的面板图如图 7-2 所示。

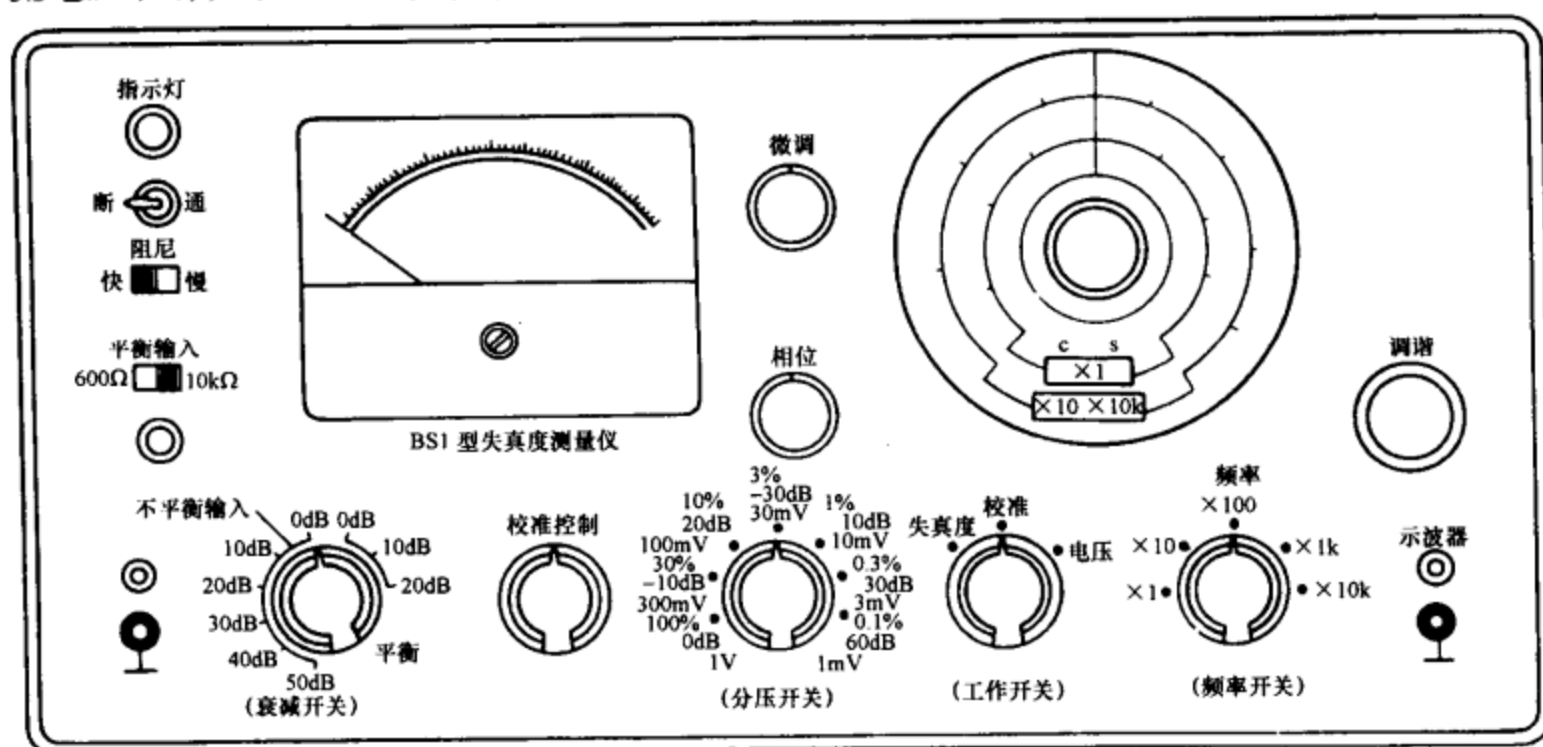


图 7-2 BS1 型失真度测量仪面板图

1. 失真度测量

(1)频率范围(基波)。

不平衡:2Hz~200kHz 共分 5 挡。

平衡:20Hz~40kHz 共分 3 挡。

(2)失真度范围。0.1%~100%(满刻度)共分 7 挡。

(3)输入信号范围。

不平衡:300mV~300V。

平衡:300mV~10V。

2. 电压测量

(1)电压范围。

不平衡:1 mV~300V(满刻度)共分 12 挡。

平衡:1 mV~10V(满刻度)共分 9 挡。

(2)频率范围。

不平衡:4Hz~1MHz。

平衡: $20\text{Hz} \sim 40\text{kHz} \pm 1\text{dB}$ 。

(3) 输入阻抗。

不平衡: $1\text{M}\Omega \pm 5\%$ 。

平衡: $600\Omega \pm 3\%$ 和 $10\text{k}\Omega \pm 10\%$ 2 挡。

三、BS1 型失真度测量仪的使用方法

接通电源前,应将“分压开关”置于“1V”位置,工作开关置于“电压位置,衰减开关置于“50dB”位置。然后接通电源,指示灯亮,预热 15min 后即可测试。

1. 电压测量(不平衡输入)

(1) 将“分压开关”至于“1V”,工作开关至于电压位置。

(2) 将被测电压从不平衡输入送入,电压表即有指示。

(3) 控制“衰减开关”及改变“分压开关”位置即量程,可以从电压表上直接读出被测信号电压有效值。

若被测信号频率为 $2\text{Hz} \sim 10\text{Hz}$ 时,应把“阻尼开关”拨在慢挡,以减小指针的晃动,一般情况下,“阻尼开关”在快挡。

重点提示 电压和电平测量(平衡输入)测量方法同上。只需将被测电压从电缆平衡输入送入,若取分贝读数在平衡输入端要并接 600Ω 电阻。

2. 失真度测量(不平衡输入)

(1) 将工作开关置于“电压”位置,分压器开关置于“1V”位置。

(2) 将被测电压从输入电缆送入,测出被测电压值。

(3) 将频率开关置于相应被测信号频率的波段,调节“调谐”旋钮,使频率刻度盘上指示出被测信号的频率。

(4) 将工作开关置于“校准”位置,使电压表指示“1V”,然后将工作开关置于“失真度”位置。

(5) 反复调节“调谐”及“校准”和“微调”旋钮,使电压表指示至最小为止,相应地改变“分压开关”位置,即可从电压表上直接读出失真度的百分数。

(6) 测量完毕将分压器开关恢复到“1V”位置,工作开关放于“校准”位置。电表指示满度(1V),若指示改变,则应重新按 3、4 项方法测试。

重点提示 平衡信号失真测量测量方法同上,只需将输入信号由电缆按入平衡输入端,控制变阻开关($600\Omega \sim 10\text{k}\Omega$)和衰减器开关,使此时电压表指为 $300\text{mV} \sim 1\text{V}$,然后按上述方法进行测量即可。

第二节 逻辑分析仪

逻辑分析仪是研究测试数字电路,对数字系统进行逻辑分析的重要工具,由于它以荧光屏显示的方式给出测试结果,因而也称为逻辑示波器。

一、逻辑分析仪的特点和分类

1. 逻辑分析仪的特点

逻辑分析仪的作用是利用便于观察的形式显示出数字系统的运行情况;对数字系统

进行分析和故障判断,其主要特点如下。

- (1)有足够多的输入通道。
- (2)具有多种灵活的触发方式,确保对被观察的数据流准确定位。
- (3)具有记忆功能,可以观测单次及非周期性数据信息,并可诊断随机性故障。
- (4)具有负延迟能力,用以分析故障产生的原因。
- (5)具有限定功能,实现对欲获取的数据进行挑选,并删除无关数据。
- (6)具有多种显示方式,可用字符、助记符、汇编语言显示程序,用二进制、八进制、十进制、十六进制及 ASC II 码显示数据,用定时图显示信息之间的时序关系。
- (7)具有驱动时域仪器的能力,以便复现待测信号的真实波形及有利于故障定位。
- (8)具有可靠的毛刺检测能力。

2. 逻辑分析仪的分类

逻辑分析仪主要分为逻辑状态分析仪和逻辑定时分析仪两大类。

逻辑状态分析仪用于对数字系统实时状态分析,以字符(“0”或“1”)或助记符显示逻辑状态,采用外时钟(来自被测系统),仪器与被测信号同步工作,主要用来分析数字系统的软件,是跟踪、调试程序、分析软件故障的有力工具。

逻辑定时分析仪用于观察数字信号的传输情况与时序关系,用定时显示信号的“伪波形”(对真实信号进行限幅和整形后形成的波形),采用内时钟,仪器与被测信号异步工作;主要用于数字设备硬件的分析、调试和维修。

二、逻辑分析仪的工作原理

1. 基本组成

逻辑分析仪尽管在通道数量、取样频率、内存容量、显示方式及触发方式等方面有较大区别,但基本组成是相同的。逻辑分析仪的基本组成如图 7-3 所示。

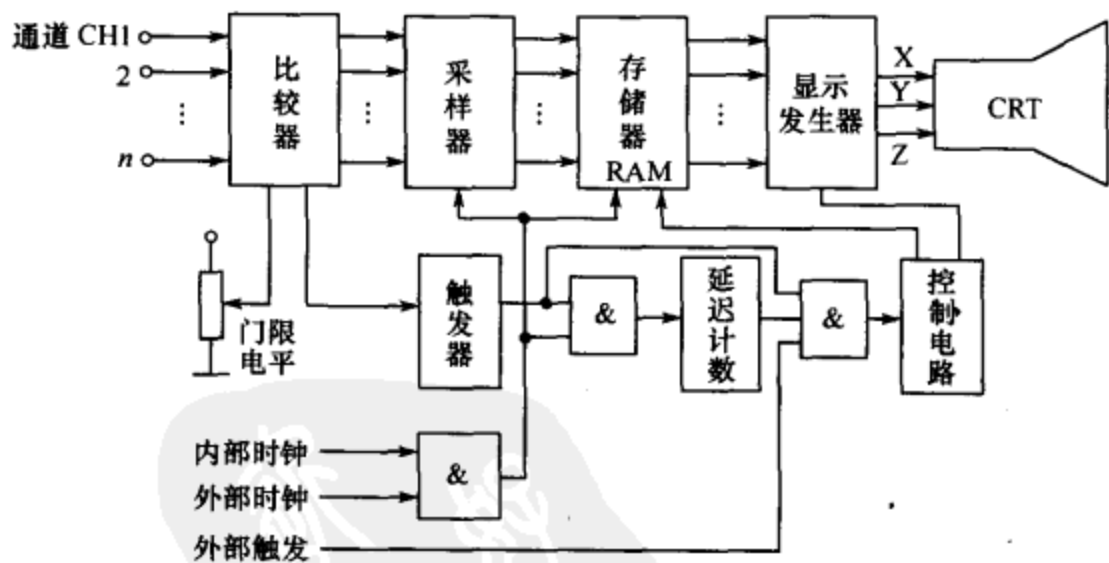


图 7-3 逻辑分析仪的基本组成

被测信号经过多通道逻辑测试探极形成并行数据,送至比较器,输入信号在比较器中与外部设定的门限电平进行比较,大于门限电平值的信号在相应的线上输出高电平;反之,输出低电平,并对输入波形进行整形。

经比较、整形后的信号送至采样器,在时钟脉冲控制下进行采样。被采样的信号按顺序存储在存储器中。采样信息以“先进先出”的原则组织在存储器中,假设存储器已存满数据,但尚未得到显示命令,存储器将自动地舍弃旧数据,装入新数据。得到显示命令,则按照先后顺序逐一读出信息,在显示器中形成 X,Y,Z3 个轴向的模拟信号,由 CRT 屏幕按设定的显示方式进行被测量的显示。

2. 触发方式

逻辑分析仪可同时采集多路信号,便于对被测系统正常运行数据流的逻辑状态和各信号间的相互关系进行观测和分析,便于在较小的存储容量内,采集和存储所需观测点前后变化的波形,逻辑分析仪设有多种触发方式。在数字信号观测时,必须正确选择触发方式。

(1)组合触发。逻辑分析仪具有“字识别”触发功能,操作者可以通过仪器面板上的“触发字选择”开关,预置特定的触发字,被测系统的数据字与预置特定的触发字比较,当二者相符时产生一次触发。设置触发字时,每一个通道可取 3 种触发条件:1、0、×,“1”表示高电平时产生触发,“0”表示低电平时产生触发,“×”表示通道状态“任意,即通道状态不影响触发条件。各通道状态设置好后,当被测系统各通道数据同时满足条件时,才产生触发。

图 7-4 为四通道组合触发实例,CH0(“1”)和 CH3(“1”)表示通道 0 和通道 3 组合触发条件为高电平;CH1(“0”)表示通道 1 触发条件为低电平;CH2(“×”)表示通道 2 触发条件“任意”,在 CH0,CH1,CH3 相与条件下产生触发信号,即触发字为 1001 或 1101。

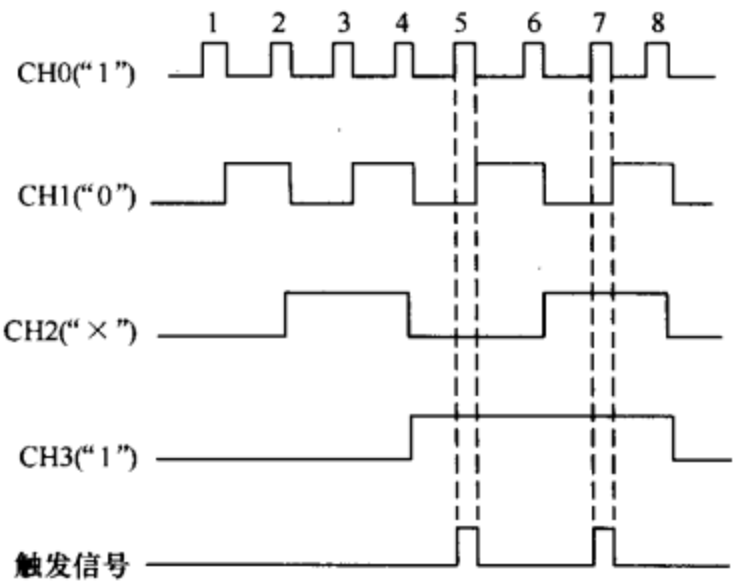


图 7-4 组合触发逻辑波形图

如果触发字选择的是某一出错的数据字,逻辑分析仪就可捕获并显示被测系统出现这一出错数据字前一段时间各通道状态的变化情况,即被测系统故障发生前的工作状态,它对于数字系统的故障诊断提供了相当方便的手段。

(2)延迟触发。在故障诊断中,常希望既能观察触发点前的信息,又能观察触发点后的信息,可设置一个延迟门,当捕获到触发字后,延迟一段时间后再停止数据的采集,则存储器中存储的数据包括了触发点前后的数据。

当延迟门关闭数据采集时,存储器中数据的第一个字刚好是原设定的触发字,则存储器中存储的数据全部是捕获触发字后的数据,这种方式称为始端触发。一般可控制延迟数刚好等于存储容量的 1/2,可使触发字位于中间,这种特殊情况称为中心触发。

(3)限定触发。限定触发是对设置的触发字加限定条件的触发方式,有时设定的触发

字在数据流中出现较为频繁,为了有选择地存储和显示特定的数据流,逻辑分析仪中增加一些附加通道作为约束或选择所设置的触发条件。

(4)序列触发。序列触发是为了检测复杂分支程序而设计的一种重要触发方式。当采样数据与某一预先设定的字序列(不是一个字)相符后才触发跟踪数据流。

(5)计数触发。在逻辑分析仪的触发逻辑中还有一种计数触发,对符合的次数进行计数,达到预置的计数值时才产生触发。在较复杂的软件系统中有嵌套循环的情况,常用计数触发来针对需观察的循环进行跟踪。

(6)“毛刺”触发。“毛刺”触发是利用滤波器从信号中取出一定宽度的干扰脉冲作为触发信号,可以在存储器中存储毛刺出现前后的数据流,以利于观察和寻找由于外界干扰而引起的数字电路误动作的现象和原因。

除了上述介绍的 6 种触发方式外,有的逻辑分析仪还有一些其他的触发方式,在使用时,必须正确选择触发方式。

3. 显示方式

逻辑分析仪将被测数据信号用数字形式写入存储器后,可以根据需要通过控制电路将内存中的全部或部分数据稳定地显示在屏幕上。通常有以下几种显示形式。

(1)定时显示。定时显示是以逻辑电平表示的波形图的形式将存储器中的内容显示在 CRT 屏幕上,显示的是一串经过整形后类似方波的波形,高电平代表“1”,低电平代表“0”。由于显示的波形不是实际波形,所以也称“伪波形”。这种方式可以将存储器中的全部内容按通道顺序显示出来,也可以改变通道顺序显示,以便于进行分析和比较。

(2)状态表显示。状态表显示是以各种数制(如二进制、八进制、十进制或十六进制)的形式将存储器中的内容显示在 CRT 屏幕上,有的逻辑状态分析仪还能进行反汇编,把总线上出现的数据翻译成助记符,显示程序表。

(3)图解显示。图解显示是将 CRT 屏幕的 X 方向作为时间轴,将 Y 方向作为数据轴进行显示的一种方式。将欲显示的数字量通过 D/A(数/模)变换器转变成模拟量,将此模拟量按照存储器中取出数字量的先后顺序显示在 CRT 屏幕上,形成一个图像的点阵。这种显示方式可用于数字信号处理、观察程序的运行情况。

(4)映像显示。映像显示是将存储器中的全部内容以点图形式一次显示出来。它将每个存储器字分为高位和低位两部分,分别经 X,Y 方向 D/A 变换器变换为模拟量,送入 CRT 的 X 与 Y 通道,则每个存储器字点亮屏幕上的一个点。映像显示方式对观察某程序的运行十分有帮助。

三、逻辑分析仪的基本应用

逻辑分析仪的应用是将被测系统接入逻辑分析仪,使用逻辑分析仪的探头监测被测系统的数据流,逻辑分析仪的探头是将若干个探极集中起来,其触针细小,以便于探测高密度集成电路。

逻辑分析仪的工作过程就是数据采集、存储、触发、显示的过程,由于它采用数字存储技术,可将数据采集工作和显示工作分开进行,也可同时进行,必要时,对存储的数据可以反复进行显示,以利于对问题的分析和研究。逻辑分析仪可广泛地应用于数字系统的测试中,如数字集成电路测试、微处理器系统测试、诊断数字系统故障等方面。

下面以测试存储器 RAM2114 为例,简要介绍逻辑分析仪的应用。图 7-5 为测量 RAM2114 的连线图。

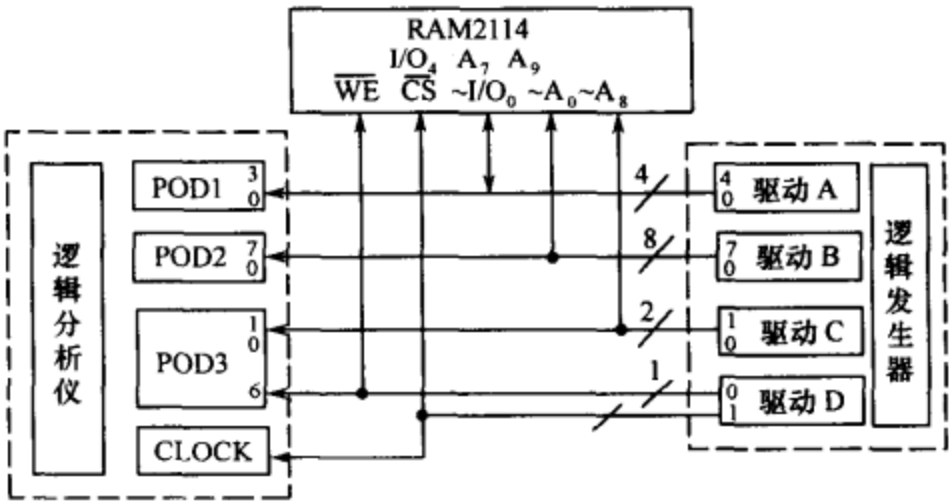


图 7-5 测量 RAM2114 的连线图

RAM2114 是容量为 $1\text{KB} \times 4$ 的 RAM 存储芯片,它有 10 条地址线,4 条数据线,片选信号端 $\overline{\text{CS}}$,写允许信号 $\overline{\text{WE}}$ 。当 $\overline{\text{WE}}$ 端提供“0”信号时,对 RAM 进行写入功能,当 $\overline{\text{WE}}$ 端提供“1”信号时,对 RAM 进行读出功能的测试。由逻辑发生器提供 RAM 工作的各种逻辑信号,逻辑分析仪的探头与 RAM 的所有管脚连接,检测所有管脚上发生的信息,进行显示。逻辑发生器的作用是产生各种多路的逻辑信号,提供被测电路工作所用。

第三节 直流稳压电源

一、直流稳压电源的分类和性能指标

1. 直流稳压电源的分类

按电路原理分,目前常用的直流稳压电源有 3 种。

- (1) 串联型直流稳压电源,应用最广泛。
- (2) 并联型直流稳压电源,一般用于输出电压和电流固定不变的情况。
- (3) 开关型直流稳压电源,常用在输出功率较大的场合,像彩色电视机中大多数都采用开关电源。它有很多优点,但电路较复杂。

按使用的器件分,有下列几种类型。

- (1) 晶体管直流稳压电源。
- (2) 晶闸管直流稳压电源。
- (3) 集成电路直流稳压电源。

2. 直流稳压电源的性能指标

- (1) 输出直流电压值及其可调节范围。
- (2) 额定负载电流。
- (3) 纹波电压是指在额定负载时,输出电压中频率大于 50Hz 的交流分量的峰峰值,纹波电压小表明性能好。
- (4) 温度漂移是指温度变化时输出电压的漂移。一般是指输入电压和负载电流都不

变时,由于电路元器件的工作温度变化而引起的输出电压缓慢而无规则的变化。温度漂移越小,表明其性能越好。

二、DWZ-301 直流稳压电源的使用

直流稳压电源有多种,实验室用的是普通稳压电源,有能够提供一组输出电压和多组输出电压的稳压电源。常用的 DWZ-301 型直流稳压、稳流电源具有输出电压稳定,能同时提供 3 组输出电压等优点,图 7-6 为其面板图。

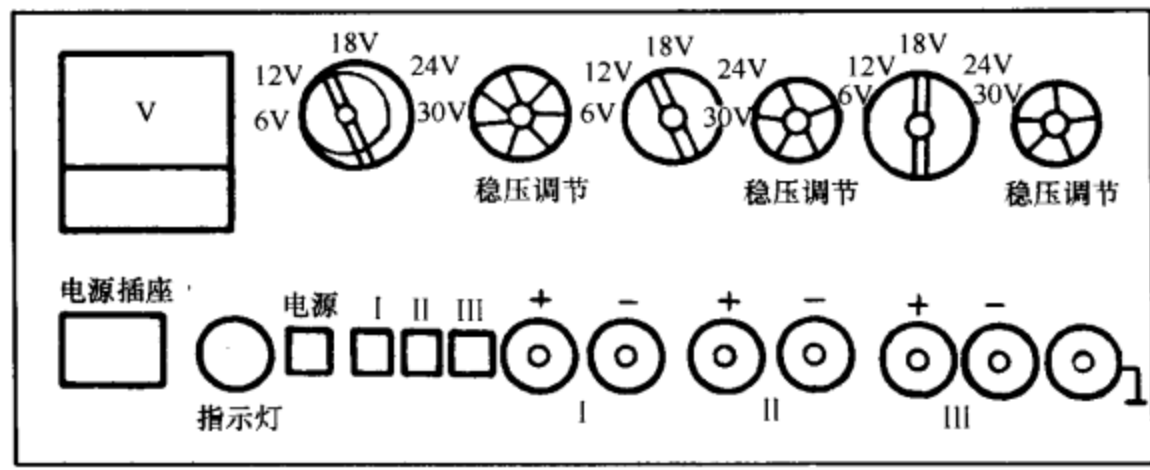


图 7-6 DWZ-301 型直流稳压电源面板图

1. 面板上各旋钮的作用

(1)表头。用于指示输出电压值的大小。

(2)输出电压大小选择开关。分为 6V、12V、18V、24V、30V 5 个挡位。使用时可根据电路所需要的电压值的大小任意选择。

(3)稳压调节。当“输出电压大小选择开关”置于某一挡位时,旋转“稳压调节”旋钮,可使输出电压在某一段范围内连续变化。例如,“输出电压大小选择开关”置于“12V”挡,旋转“稳压调节”旋钮,可使输出电压值在 6V~12V 连续变化。

(4)表头显示开关。用于显示输出电压的大小。

(5)接线柱。红色、黑色接线柱分别是输出电压的正、负极。

另外,还有电源开关和电源指示灯。

2. 使用方法

打开电源开关,电源指示灯亮(红色),将“输出电压大小选择开关”置于电路所需要的电压范围内,然后旋转“稳压调节”旋钮,使表头显示的输出电压正好是电路所需要的电压值。为了保证输出电压精确,可在输出接线柱上并接上万用表,监测输出电压的大小。

调整好输出电压值后,关上电源开关,然后用导线把稳压源的正极和负极分别与电路的正、负极连接起来,重新打开电源开关。

经过以上步骤就可以为电路提供合适的电压。如果要同时输出 2 组或 3 组电压时,可按照上述方法,调整好第 2 组、第 3 组电源。稳压源同时输出 2 组或 3 组电压时,各组输出电压是彼此独立、互不影响的。

注意事项 不能把稳压源的正、负极短路或接反。在同时使用 2 组或 3 组电源时,表头只能显示其中一组输出电压的值。要想显示另外某一组输出电压值,可按下对应于那组表头的显示开关。

第八章 虚拟电子测量仪器

随着计算机的普及,在测量领域掀起了一个虚拟仪器的旋风,在美国 NI 公司提出“软件就是仪器”的口号后,各种虚拟仪器应运而生,加之虚拟仪器价格便宜、功能全面,因此,虚拟仪器很快得到了广大电子爱好者的认可。本章主要介绍几种常用的虚拟电子测量仪器的使用方法。

第一节 虚拟仪器概述

一、什么是虚拟仪器

所有测量测试仪器的主要功能可由数据采集、数据测试和分析、结果输出显示 3 大部分组成,其中数据分析和结果输出完全可由基于计算机软件系统来完成,因此只要另外提供一定的数据采集硬件,就可构成基于计算机组成的测量测试仪器。基于计算机的数字化测量测试仪器就称之为虚拟仪器(VI)。需要说明的是,这里所指的虚拟仪器和 EDA 仿真软件中的虚拟仪器概念完全不同,它可以完全替代传统台式测量测试仪器。而 EDA 仿真软件中的虚拟仪器是纯软件的、仿真的。

虚拟仪器是电子测量技术与计算机技术相结合的产物,是具有很好发展前景的新一代电子仪器。虚拟仪器突破了传统电子仪器以硬件为主体的模式,实际上,使用者是在操作具有测试软件的电子计算机进行测量,犹如操作一台虚设的电子仪器。虚拟仪器要比传统的电子仪器更为通用,在组建和改变仪器的功能和技术性能方面更为灵活、经济,更能适应迅猛发展的当代科学技术对测量技术和测量仪器不断提出的更新并扩展功能与性能的要求。因此,虚拟仪器发展很快。

二、虚拟仪器的组成

虚拟仪器由硬件和软件两部分组成。虚拟仪器的硬件主体是电子计算机,通常是个人计算机,也可以是任何通用电子计算机。为计算机配置的电子测量仪器硬件模块是各种传感器、信号调理器、模拟数字转换器(ADC)、数字模拟转换器(DAC)、数据采集器(DAQ)等。电子计算机及其配置的电子测量仪器硬件模块组成了虚拟仪器测试硬件平台的基础。虚拟仪器还可以选配开发厂家提供的系统硬件模块,组成更为完善的硬件平台。

测试软件是虚拟仪器的“主心骨”。虚拟仪器的概念是 1986 年由美国国家仪器公司(NI 公司)首先提出的。NI 公司在提出虚拟仪器概念并推出第一批实用成果时,就用“软件就是仪器”来表达虚拟仪器的特征,强调软件在虚拟仪器中的极为重要的位置。但这并

不排斥测试硬件平台的重要性。NI 公司从一开始就推出丰富而简洁的虚拟仪器开发软件。使用者可以根据不同的测试任务,在虚拟仪器开发软件的提示下编制不同的测试软件,来实现当代科学技术复杂的测试任务。

NI 公司推出的虚拟仪器概念迅速得到世界各国的广泛欢迎和支持,其主要原因就是他们从一开始就推出丰富而实用的开发软件,如面向科学家和工程技术人员(而不是计算机的编程人员)的 Lab VIEW 和 Lab Windows/CVI 虚拟仪器开发平台软件。这些软件以简单直观的编程方式、众多源码级的设备驱动程序、丰富实用的分析表达功能和支持功能,使使用者能快速地构建自己的测量仪器或测量仪器系统。这些软件提供简单、直观、易于操作的图形编程方式,把复杂的语言编程方式简化为菜单提示方式,使工程技术人员可以得心应手地编制测试软件,规范一套由通用电子计算机和电子测量硬件模块组成的硬件测试平台来实现新的测试任务和要求。

三、虚拟仪器的分类

虚拟仪器的发展随着微机的发展和采用总线方式的不同,可分为以下几种类型。

1. PC 总线——插卡型虚拟仪器

这种方式借助于插入计算机内的数据采集卡与专用的软件如 Labview 相结合(注意:美国 NI 公司的 Labview 是图形化编程工具),通过各种控件自己组建的仪器。这种方案的优点是可以充分利用计算机的总线、机箱、电源及软件的便利。缺点是受 PC 机箱和总线限制,电源负载较重,机箱内部的噪声电平较高,插槽数目也不多,插槽尺寸比较小,机箱内无屏蔽等。

2. 并行口式虚拟仪器

最新发展的一系列可连接到计算机并行口的测试装置,它们把仪器硬件集成在一个采集盒内。仪器软件装在计算机上,通常可以完成各种测量测试仪器的功能,可以组成数字存储示波器、频谱分析仪、逻辑分析仪、任意波形发生器、频率计、数字万用表、功率计、程控稳压电源、数据记录仪、数据采集器。美国 LINK 公司的 DSO-2XXX 系列虚拟仪器,它们的最大好处是可以与笔记本计算机相连,方便野外作业,又可与台式 PC 机相连,实现台式和便携式两用,非常方便。由于其价格低廉、用途广泛,特别适合于研发部门和各种教学实验室应用。

3. 串行总线虚拟仪器

RS232 串行总线是 PC 机早期采用的通用串行总线,至今仍然适用于要求较低的虚拟仪器或测试系统。从事虚拟仪器开发的厂家和公司,也很注意 USB 通用串行总线和 IEEE 1394 串行总线虚拟仪器的开发,一是因为虚拟仪器系统主控常采用 PC 机,而当今 PC 机已经更多地采用 USB 总线和 IEEE 1394 总线,二是因为 USB 总线已经得到广泛的支持。微软 Windows 全面支持 USB 总线,Sun 公司和 Digital 公司也已经支持 USB。但是,USB 总线只限于用在较简单的测试系统中,当今用虚拟仪器组建自动测试系统,更有前途的是采用 IEEE 1394 串行总线,这是因为这一种高速串行总线,能够以 100Mb/s、200Mb/s 或 400Mb/s 的速率传送数据,显然会成为虚拟仪器发展最有前途的总线。目前,国际上虚拟仪器所用 IEEE 1394 总线的传输速度的最高记录,已经达到 100Mb/s。

4. GPIB、VXI 和 PXI 总线虚拟仪器

典型的 GPIB 系统由一台 PC 机、一块 GPIB 接口卡和若干台 GPIB 形式的仪器通过 GPIB 电缆连接而成。在标准情况下,一块 GPIB 接口可带多达 14 台仪器,电缆长度可达 40m。GPIB 技术可用计算机实现对仪器的操作和控制,替代传统的人工操作方式,可以很方便地把多台仪器组合起来,形成自动测量系统。GPIB 测量系统的结构和命令简单,主要应用于台式仪器,适合于精确度要求高的,但不要求对计算机高速传输状况时应用。

VXI 总线是一种高速计算机总线 VME 总线在 VI 领域的扩展,它具有稳定的电源,强有力的冷却能力和严格的 RFI/EMI 屏蔽。由于它的标准开放、结构紧凑、数据吞吐能力强、定时和同步精确、模块可重复利用、众多仪器厂家支持的优点,很快得到广泛的应用。经过 10 多年的发展,VXI 系统的组建和使用越来越方便,尤其是组建大、中规模自动测量系统以及对速度、精度要求高的场合,有其他仪器无法比拟的优势,但造价比较高。

PXI 总线方式是 PCI 总线内核技术增加了成熟的技术规范和要求形成的,也是增加了多板同步触发总线的技术规范和要求形成的。PXI 具有 8 个扩展槽,而台式 PCI 系统只有 3 个~4 个扩展槽,通过使用 PCI-PCI 桥接器,可扩展到 256 个扩展槽,台式 PC 的性能价格比和 PCI 总线面向仪器领域的扩展优势结合起来,将形成未来的虚拟仪器平台。

以上简要地介绍了几类常用的虚拟仪器,无论哪种虚拟仪器系统,都是将硬件仪器(调理放大器、A/D 卡)搭载到笔记本式计算机、台式 PC 或工作站等各种计算机平台上,加上应用软件而构成的,实现了用计算机的全数字化的采集测试分析。因此,虚拟仪器的发展完全跟计算机的发展步伐同步。所以,显示出虚拟仪器的灵活性和强大的生命力。

四、虚拟仪器的展望

虚拟仪器的崛起是测试仪器技术的一次“革命”,是仪器领域的一个新的里程碑。未来的虚拟仪器完全可以覆盖计算机辅助测试(CAT)的全部领域。几乎能替代所有的模拟测试设备。它的重要意义在于有许多求知部分有待大家去填补。虚拟仪器的前景十分光明。基于计算机的全数字测量分析是采集测试分析的未来。

第二节 虚拟仪器软件 AudioSCSI

虚拟仪器软件 AudioSCSI 是一套基于 PC 机声卡的虚拟仪器共享软件,包含了示波器、频谱仪、信号发生器、扫频仪等常规仪器,AudioSCSI 工作在微软视窗操作系统下,界面友好,操作方便,读者在 <http://www.ost2002.com> 网站上可以免费下载简体中文版。

需要说明的是,AudioSCSI 是一套共享软件,非注册用户同注册用户在软件功能上没有限制,但非注册用户不能查看采集的信号波形,同时只能使用正弦波信号发生器。

AudioSCSI 具有较高的分析功能,如 AudioSCSI 有清晰的界面分类、支持模拟仪器的面板、支持 96kHz 的采样率、支持多种频域分析方法、支持白噪声及扫频等功能。下面将就 AudioSCSI 的原理及使用方法作一简要介绍。

一、基本原理

AudioSCSI 使用了 PC 机声卡上的模数转换器(ADC)、数模转换器(DAC)及混音器

(MIXER)等设备,下面先来看看声卡 5 个主要的插孔与接头,如图 8-1 所示。

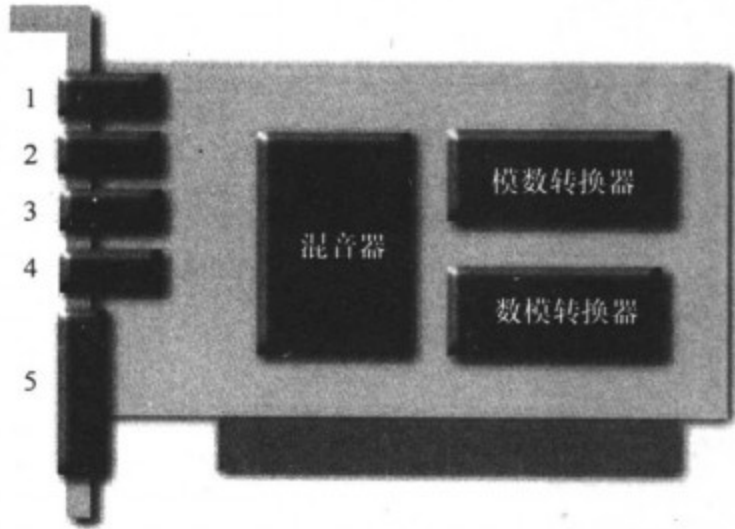


图 8-1 声卡简图

图中标号 1 为 LINE IN 插孔,是用来连接录音机或 CD 唱盘等附有放大器的音源装置的。标号 2 为 LINE OUT 插孔,是用来外接放大器或内建放大器的喇叭。标号 3 为 MIC 插孔,用来接麦克风以便作声音的输入。标号 4 为 SPK,如果使用的是无源音箱,需要通过声卡内建的放大器来发音,那么可以接到 SPK 的位置。标号 5 为 MIDI/GAME 插孔,是连接外接 MIDI 键盘或游戏摇杆用的。

ADC(Analog to Digital Converter)指的是将输入的音频信号由模拟化转换成数字化,让计算机能够直接进行处理。相反,DAC (Digital to Analog Converter)则是把数字化的声音数据转换成模拟信号输出,这样就可以从喇叭或音响里听到音频信号。同时,ADC、DAC 使用时,还需特别考虑采样数据格式的设定。一般来说,16 位的采样解析度会比 8 位来得清晰,44kHz 的采样频率则比 22kHz 表现得更好。性能好的声卡可以支持 96kHz 的采样率。混音器(MIXER)是一块进行音效控制的芯片,负责有关音源的音量、混音调整。可以用混音器来筛选各种声音的来源,包括外接的放音设备、CD-Audio、Wave Audio、电子合成音乐以及由麦克风输入的声音等。利用混音器,可以控制各种输入的音量大小,调整高低音大小和声道平衡,提供与高级音响相同的功能。

AudioSCSI 正是利用了声卡的这些特性,并编制了基于 FFT(快速傅里叶算法)方法的信号处理程序,用于分析数字信号,加上虚拟仪器面板,构成了易用的高性能个人虚拟仪器软件。

二、准备工作

1. 软件的安装

将虚拟仪器软件 AudioSCSI 下载后,双击 AudioSCSI.exe 文件,出现如图 8-2 所示的安装向导。

按照提示,程序会一步一步安装到操作系统中。此软件支持中文 WIN95/98/XP/ME/2K 等,需要计算机有声卡和显示卡支持 32 位真彩,否则图形将不是很好看。

2. 测量探头

测量探头的原理图如图 8-3 所示。包括了一个 10 倍的衰减器,当开关闭合时没有衰减,当开关开放时 10 倍衰减,其中电阻值为 $R1=1.4k\Omega$, $R2=1.9k\Omega$, $R3=1.9k\Omega$,

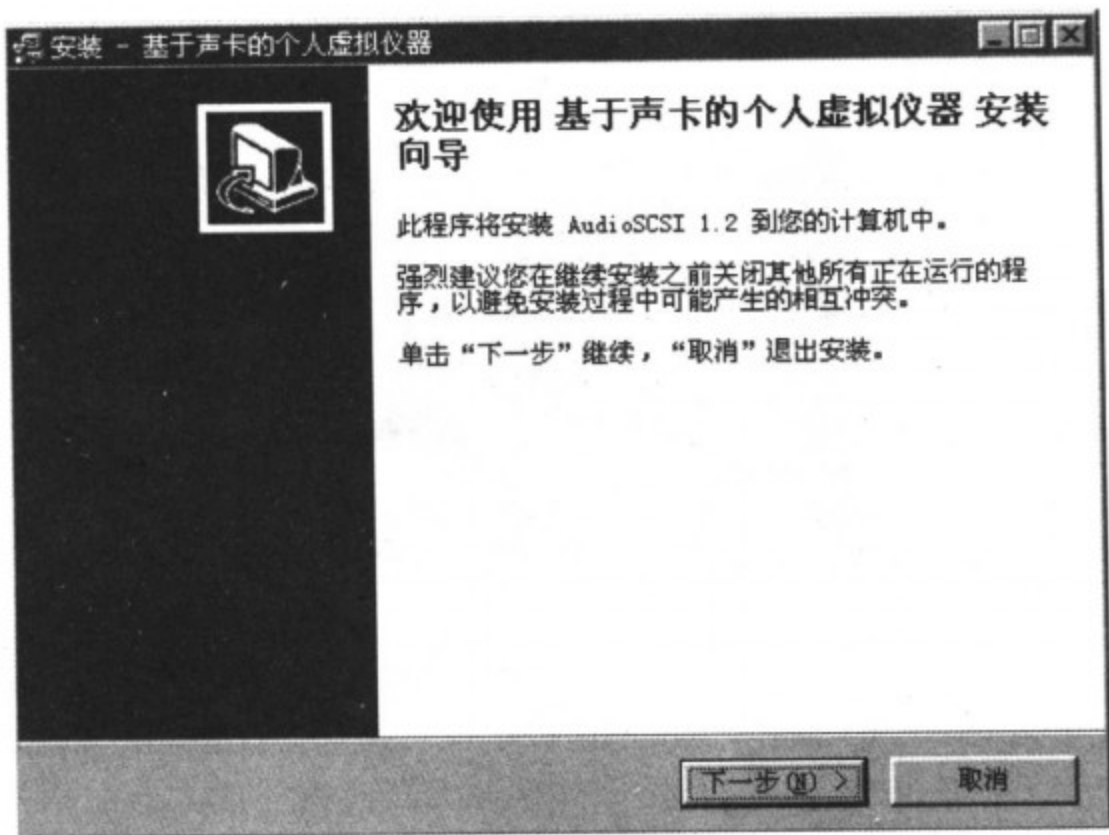


图 8-2 安装向导

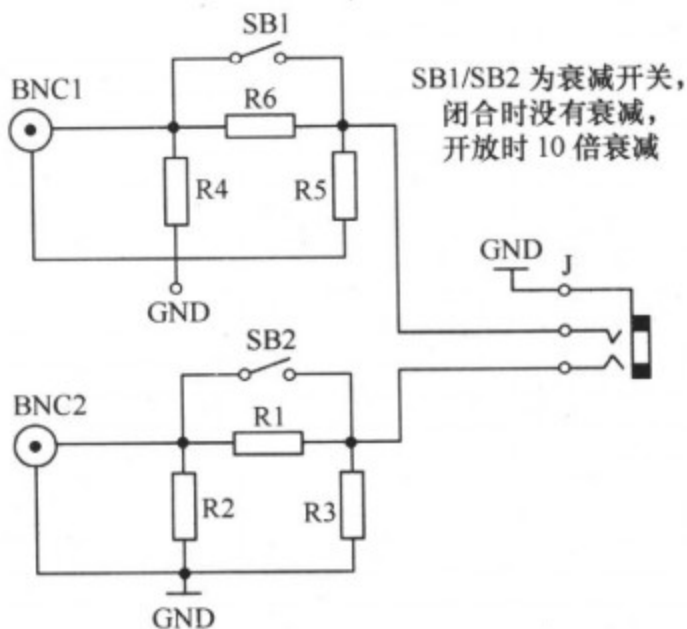


图 8-3 测量探头原理图

$R4=1.9k\Omega$, $R5=1.9k\Omega$, $R6=1.4k\Omega$ 。同时采集的信号线一定要使用屏蔽线, 因为计算机中有很多的高频干扰。

3. 估计测量信号的幅度大小及频率

由于声卡的特点, 被采集的信号幅度不要太高, 最好能控制在 $-1V \sim +1V$ (信号太大, 需要适量的衰减, 可以使用上面的探头), 频率要小于 $20kHz$, 否则测量的波形有可能失真。另外, 一定不要直接测量大电流、高电压的信号, 如果测量不当有可能损坏计算机。

4. 输入和输出

调节混音器, 在录音音源中选择线路输入, 将测量探头插入线路输入, 以便信号采集, 具体操作见下面“基本操作”中关于“系统操作”的介绍; 调节混音器, 在放音音源中选择 SPK 输出, 将音箱插头插入 SPK, 以便信号输出, 具体操作见下面“基本操作”中关于“系

统操作”的介绍。

三、基本操作

当以上的准备工作完成后好了以后,就可以开始 AudioSCSI 的基本操作。

1. 数字示波器

在桌面上,双击 AudioSCSI 的图标,系统启动便进入数字示波器的画面,如图 8-4 所示。

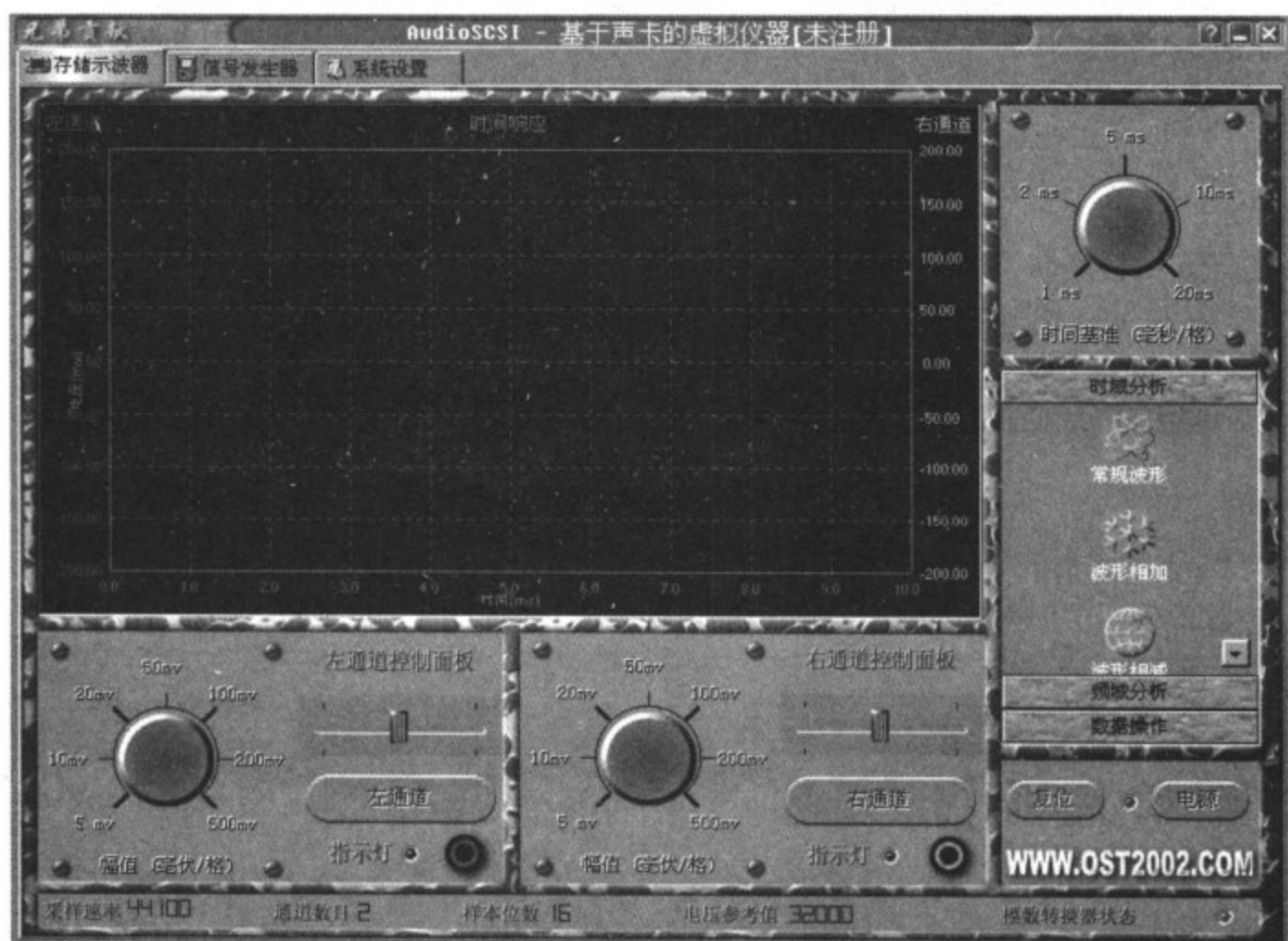


图 8-4 数字示波器画面

面板上有左通道控制面板、右通道控制面板、时间基准调节、信号控制区、电源、系统状态栏等;幅值包括:5mV、10mV、20mV、50mV、100mV、200mV、500mV 7 挡;时间基准:1ms、2ms、5ms、10ms、20ms 5 挡;波形显示区被分为 8×10 的小格,系统状态栏中显示有当前模数转换器设置的参数及运行情况,有明确的 LED 指示灯表示状态。

当单击“电源”按钮,系统就会工作显示信号波形,其中红色表示左通道波形,绿色表示右通道波形,波形幅度可以使用幅旋钮调节,波形位置可以使用滑块调节,在时域分析栏中包含了常规波形、波形相加、波形相减、波形相乘及李莎育图形等功能。

2. 频谱分析仪

频谱分析仪是一般模拟示波器所没有的功能,AudioSCSI 提供了多种信号分析功能,点击示波器图中的“频域分析”,可进入频谱分析功能,如图 8-5 所示。包括幅—频特性、相—频特性、自功率谱函数、互功率谱函数、自相关函数、互相关函数等,通过幅—频特性可以更清楚地看到波形的频域特性,可以了解信号的频率成分,谱线最高部分表示了信号的频率。

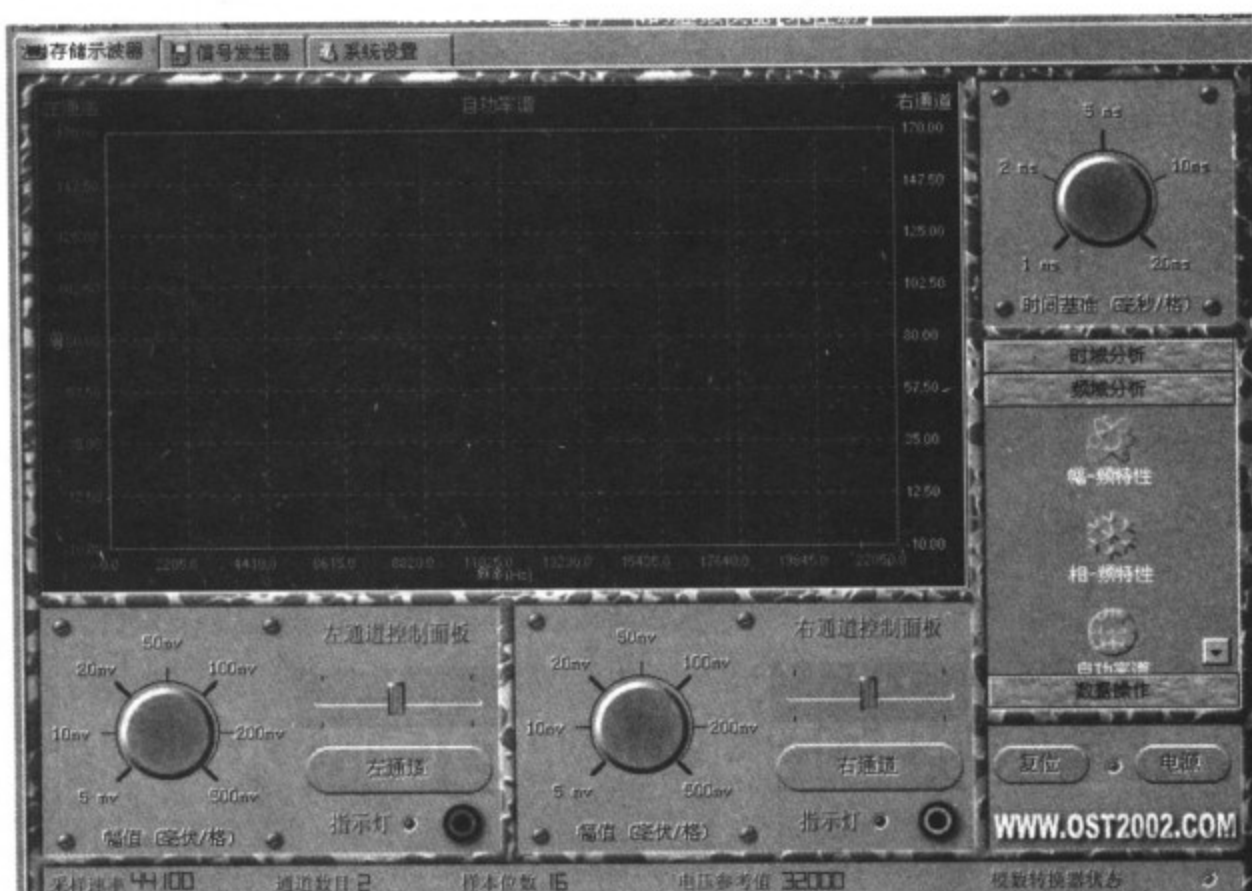


图 8-5 频谱分析仪

3. 信号发生器

点击图中的“信号发生器”可进入信号发生器界面,如图 8-6 所示。



图 8-6 信号发生器

AudioSCSI 支持双通道 96kHz 采样的信号发生器,面板上有左通道控制面板、右通

道控制面板、波形控制区、电源、系统状态栏等；系统状态栏中显示有当前数模转换器设置的参数及运行情况，有明确的 LED 指示灯表示状态。

当单击“电源”按钮，系统就会工作显示当前信号的波形，其中红色表示左通道波形，绿色表示右通道波形，波形幅度可以使用幅旋钮调节，提供正弦波、矩形波、三角波、白噪声等信号，频率及幅度都可自行调整。

4. 扫频仪

AudioSCSI 同时提供一个信号为 1000ms 的双通道扫频仪，起始频率最低为 1Hz，结束频率最高为 20000Hz。在信号发生器界面中，将“波形类别”选择“扫频信号”一栏，即可打开扫频仪。

5. 系统设置

点击画面中的“系统设置”，即可打开系统设置画面，如图 8-7 所示。



图 8-7 系统设置

AudioSCSI 提供了虚拟仪器参数设置、设备控制及联机帮助等，其中包括有模数转换器和数模转换器的参数设置、设备控制；采样率支持 5 种速率：11.025kHz、22.05kHz、44.1kHz、48kHz、96kHz，单通道/双通道选择，8/16 位选择。

AudioSCSI 为了能够准确地反映信号的幅度，使用了“电压参考值”这个设置，默认时 1V 的电压在计算机中，当样本位数为 16 时这个值是 32000，当样本位数为 8 时这个值是 120，如果将此数值校准，则示波器上的信号幅值将是准确的。在“设备控制”中包含输入设备控制及输出设备控制，实际上就是前面提到得混音器(MIXER)的控制程序，通过它可以对录音/放音的音源进行控制。当按下“输入设备设置”时会出现如图 8-8 所示的画面。

以上是关于 AudioSCSI 的介绍与基本使用，实际上，AudioSCSI 可以在音频范围内

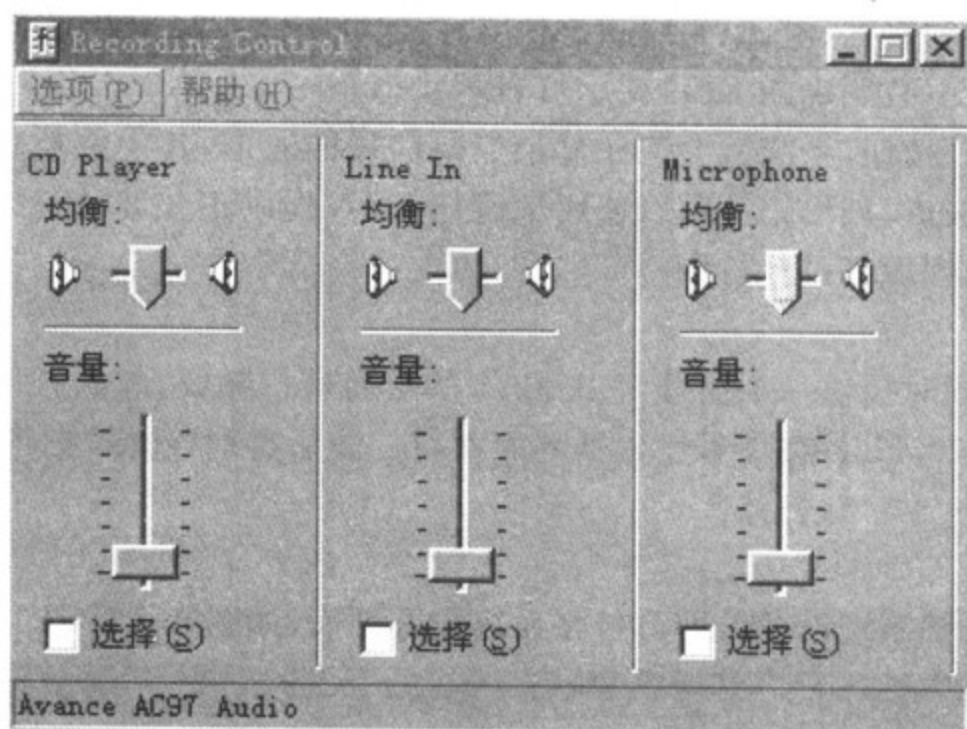


图 8-8 输入设备设置

有效地代替上述的那些传统仪器,但是 AudioSCSI 同所有得基于声卡的仪器一样,功能上有一些限制,比如不能测量超过 20kHz 的信号,信号不能太强,信号的干扰较大等。

在实际应用中,AudioSCSI 可以用来测量音频范围的各种信号(声音、脉搏、地震波、心电图、脑电图、电话等);可以应用于喇叭、音箱测量、厅堂音响、学校电子实验、工业噪声等。

第三节 虚拟仪器软件FlashDSO II

下面向大家介绍一种基于 PC 机并口的虚拟仪器——FlashDSO II,FlashDSO II 工作在 Windows 操作系统下,包含数字存储示波器、数字频谱分析仪等,具有丰富的信号分析方法和友好的交互界面,它含有 7 个频段,1-2-5 进制,跨越视频、音频信号范围,配备了强大的数字信号处理(DSP)软件,可用来测量各种类型电信号,如视频信号、音频信号、计算机数字信号、单片机时序等,可以应用于彩显、电视机、VCD/DVD 机、音响等的维修及各种工业测量场合。读者可在 <http://www.ost2002.com> 网站上免费下载简体中文版。

一、基本工作原理

FlashDSO II 使用了计算机并口接口,目前主要有 SPP、EPP、ECP 3 种类型的并口。SPP 口是一种低速的并口模式,适合将结果输出送到打印机,它又分为 4bit、8bit、半 8bit 等几类。EPP 口为增强并行口,目的是在外部设备间进行双向通信。ECP 口为扩展并行口,它具有和 EPP 一样的高速率和双向通信能力,但在多任务环境下,它能使用 DMA(直接存储器访问)方式,所需缓冲区也不大。

FlashDSO II 自动支持所有并口模式,即插即用。FlashDSO II 通过信号调理器接收待测的模拟信号,然后通过信号采集器将模拟信号变为数字信号,通过并口将数据传给计算机的测控软件,测控软件中编制了基于 FFT 方法的信号处理程序,用于分析数字信号,加上虚拟仪器面板,构成了易用的高性能个人虚拟仪器。系统组成如表 8-1 所列,系统主要性能如表 8-2 所列。

表 8-1 系统组成

组成部分	详细描述
20M 示波探头	探头(1 : 1、10 : 1)
信号调理器	包含信号调理板、工作指示灯、电源插孔、复位孔、BNC 接头、25 针插座
信号采集器	包含信号采集板、25 针插座及 25 孔插座
直流电源适配器	9V 200mA/300mA DC 电源(芯为正极)
FlashDSO II 软件包	包含示波及频谱分析的测控软件包
计算机并口延长电缆	连接波形采集盒同计算机并口

表 8-2 系统主要性能

性 能	详细描述
通道数	单通道
模拟带宽	20MHz
垂直灵敏度	5 mV/div~500mV/div
上升时间	<10ns
输入阻抗	1MΩ,13pF
输入通道耦合	DC、AC、GND
时基范围	250ns/div~100μs/div
触发源	CH1
水平精度	±0.01%
水平分辨率	20ns
频谱分析	1K 点
垂直分辨率	8 位
输入电压	-20V~+20V(通过探头 10 倍衰减)

二、系统安装

当购买到一套 FlashDSO II 时,先检查一下收到的所有配件,要包括以下的部分:示波探头、信号调理器、信号采集器、直流电源适配器、FlashDSO II 软件包、计算机并口延长电缆等,如果配件没有问题,接下来要可以安装 FlashDSO II 了。在安装 FlashDSO II 前,对计算机需要检查一下,操作系统是否已经正常工作,并口是否占用等。

1. 硬件安装

将示波探头接上信号调理器,信号调理器接上信号采集器,信号采集器接上计算机并口,如图 8-9 所示。最后将电源插入信号调理器,这时在信号调理器的红色发光二极管就会发亮。当开始采集时,信号调理器的绿色发光二极管将会闪动。

2. 软件安装

将 FlashDSO II 软件包光盘(也可从网站下载)放入计算机光碟机,点击 FlashDSO II,按照

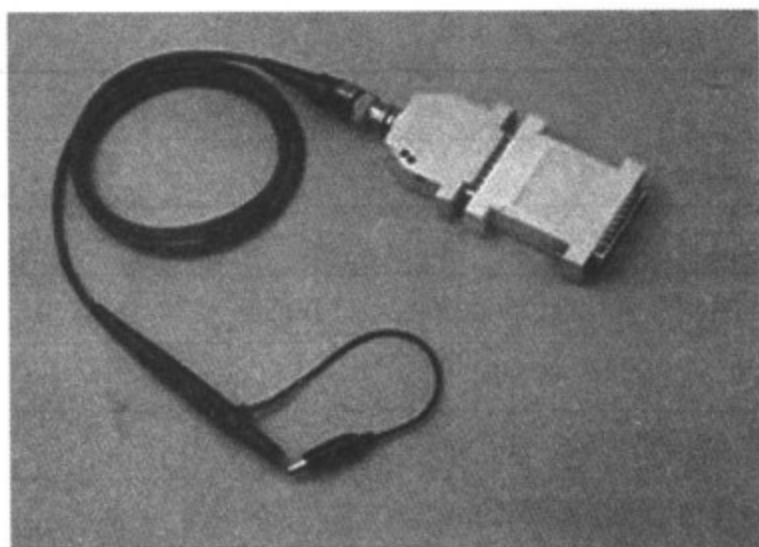


图 8-9 硬件安装示意图

安装向导提示,将软件安装到计算机中。详细的安装步骤如下。

(1)安装画面。安装画面如图 8-10 所示。

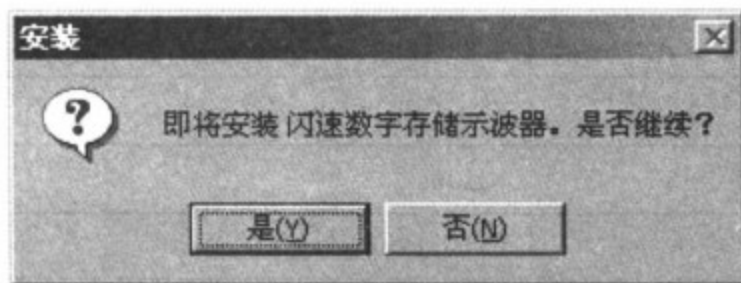


图 8-10 安装画面

(2)安装向导。安装向导如图 8-11 所示。

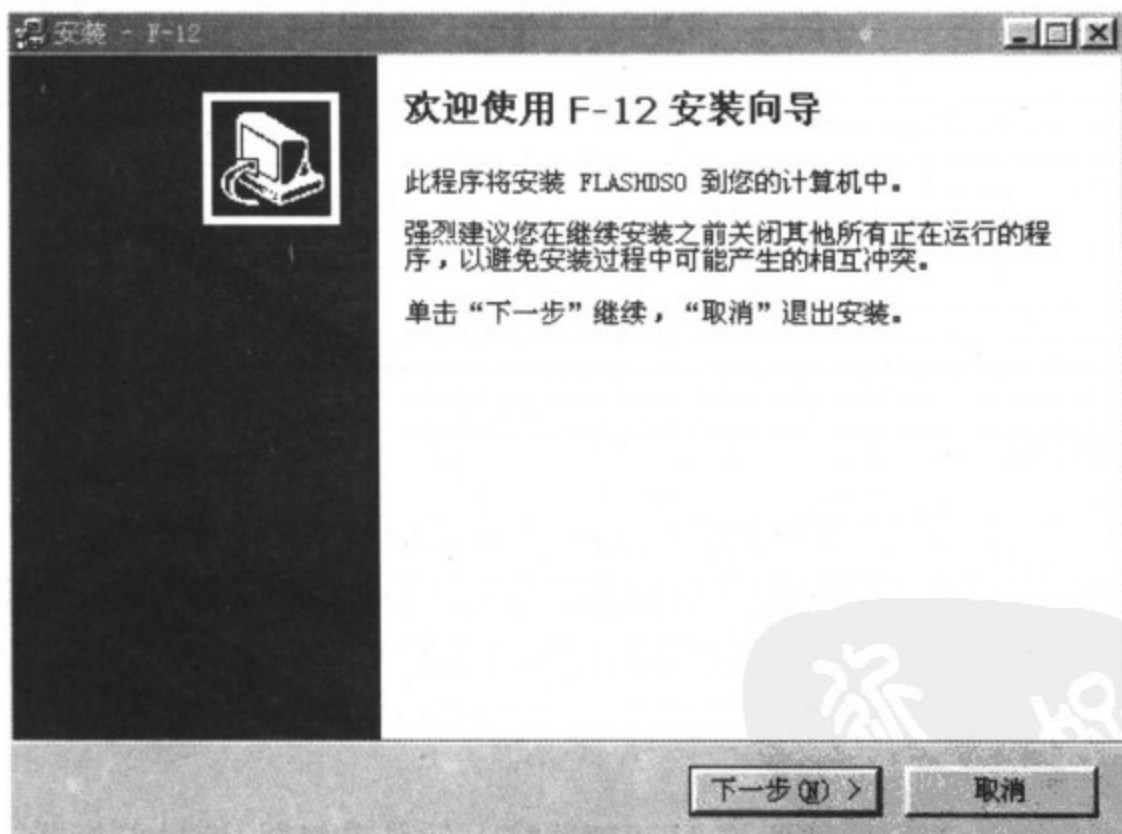


图 8-11 安装向导

(3)安装许可协议。安装许可协议如图 8-12 所示。

(4)选择目标文件夹。选择目标文件夹如图 8-13 所示。

(5)选择开始菜单文件夹。选择开始菜单文件夹如图 8-14 所示。

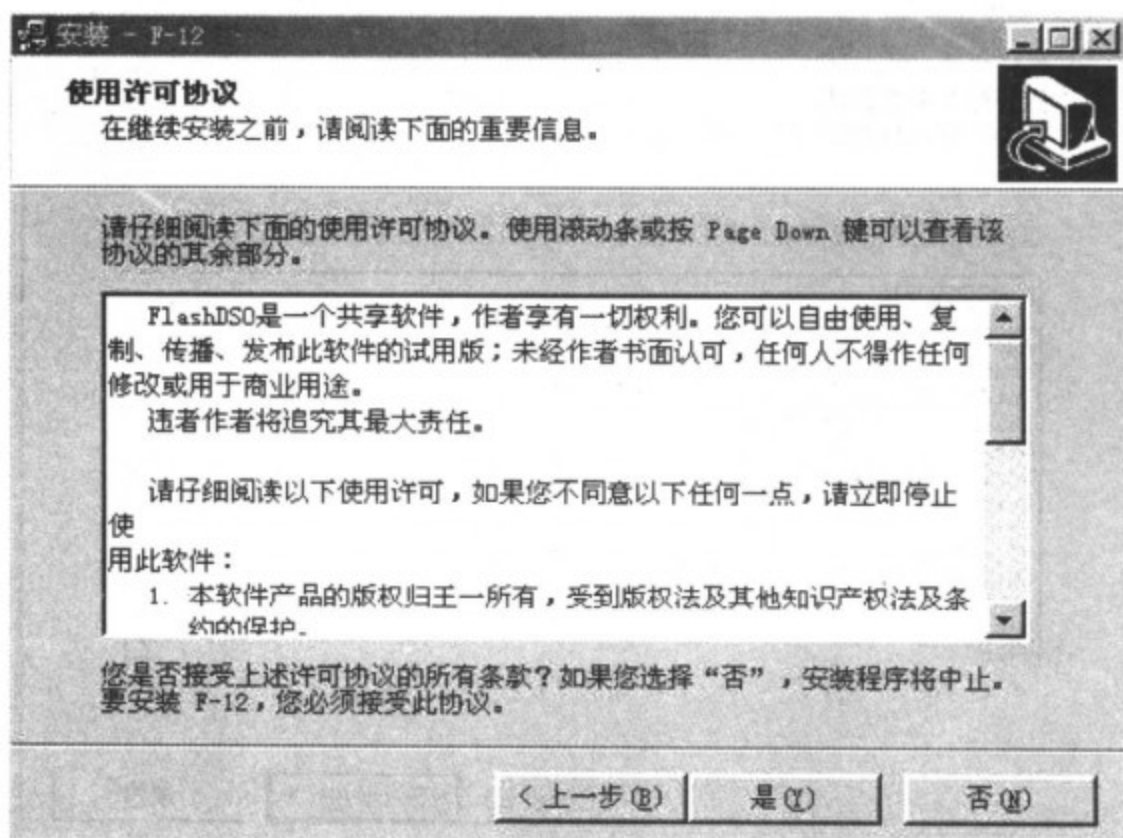


图 8-12 安装许可协议

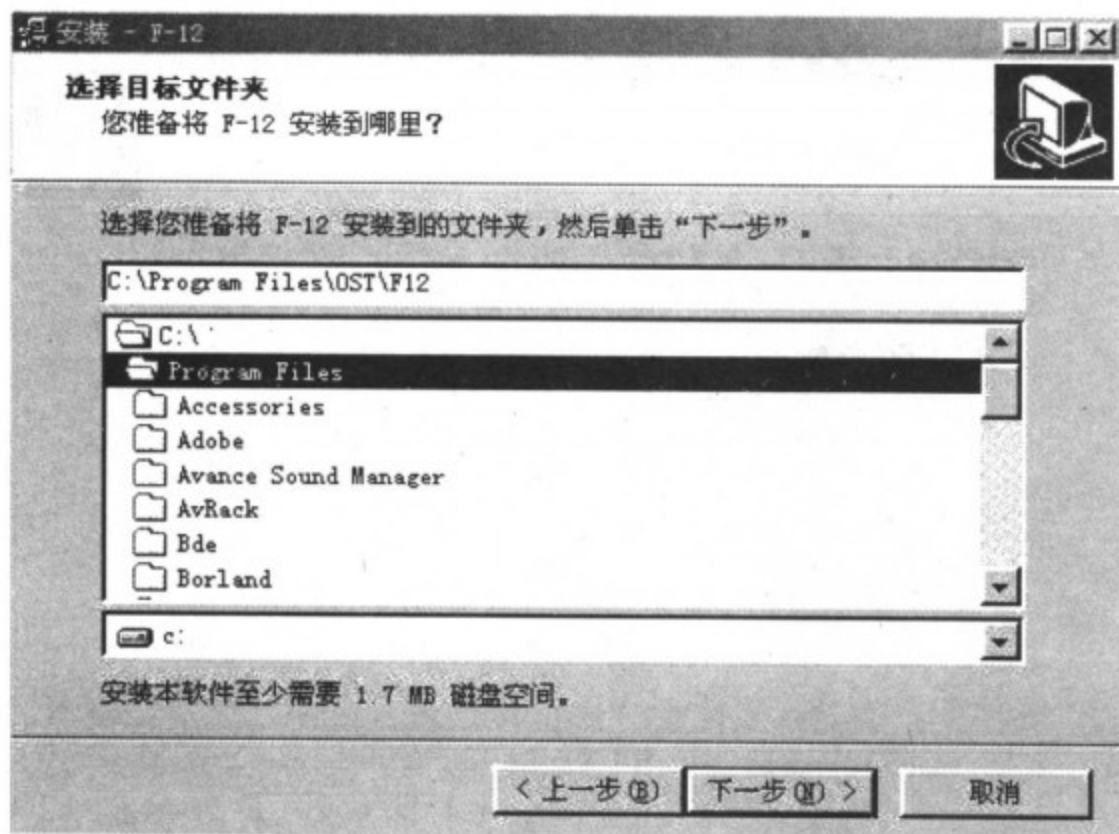


图 8-13 选择目标文件夹

(6)选择建立桌面快捷方式。选择建立桌面快捷方式如图 8-15 所示。

(7)确定安装。确定安装如图 8-16 所示。

(8)安装完成。安装完成如图 8-17 所示。

(9)开始使用。在完成上述步骤后，出现图 8-18 所示的画面，现在就可以开始使用了。

在第一次使用时，系统将会提示注册，可以向 <http://www.ost2002.com> 申请免费的注册码，也可在随机光盘的标签上找到，注册的好处是可以获得更多的服务，同时能保证获得的产品是厂家原产的。

将示波探头接入信号，单击控制窗口中的电源开关，当上方的指示灯变为绿色，表明

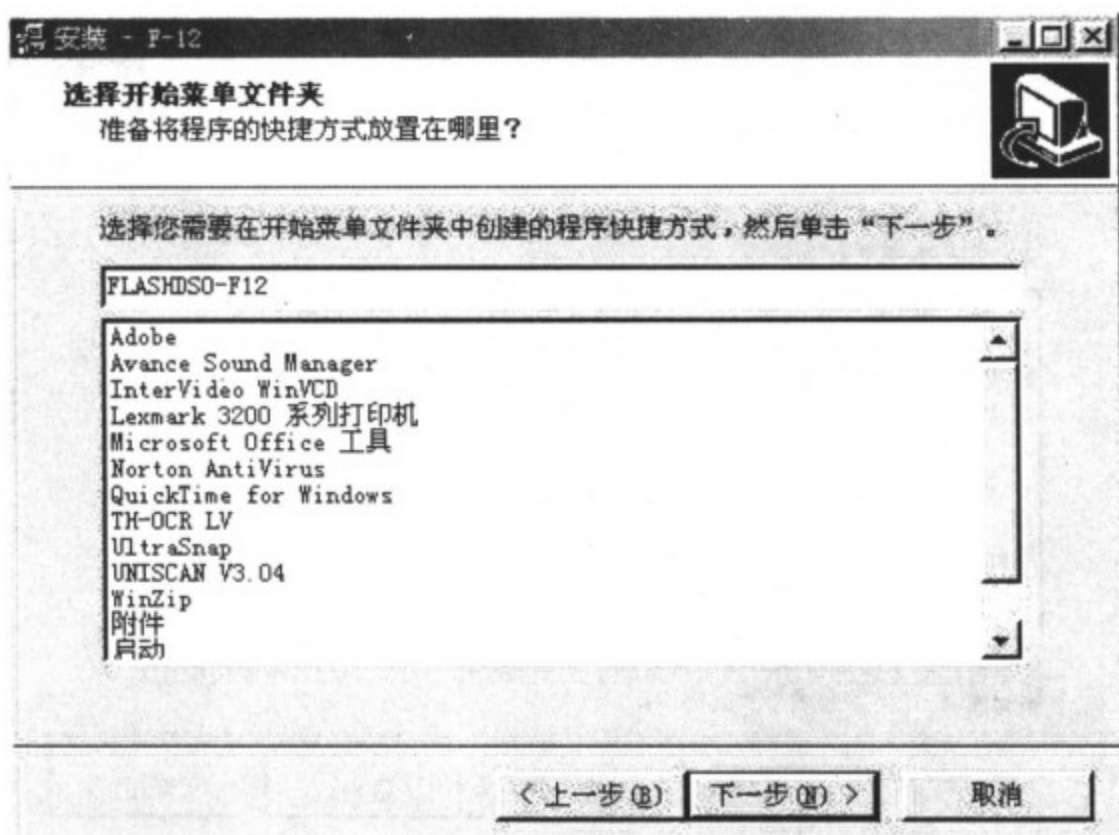


图 8-14 选择开始菜单文件夹

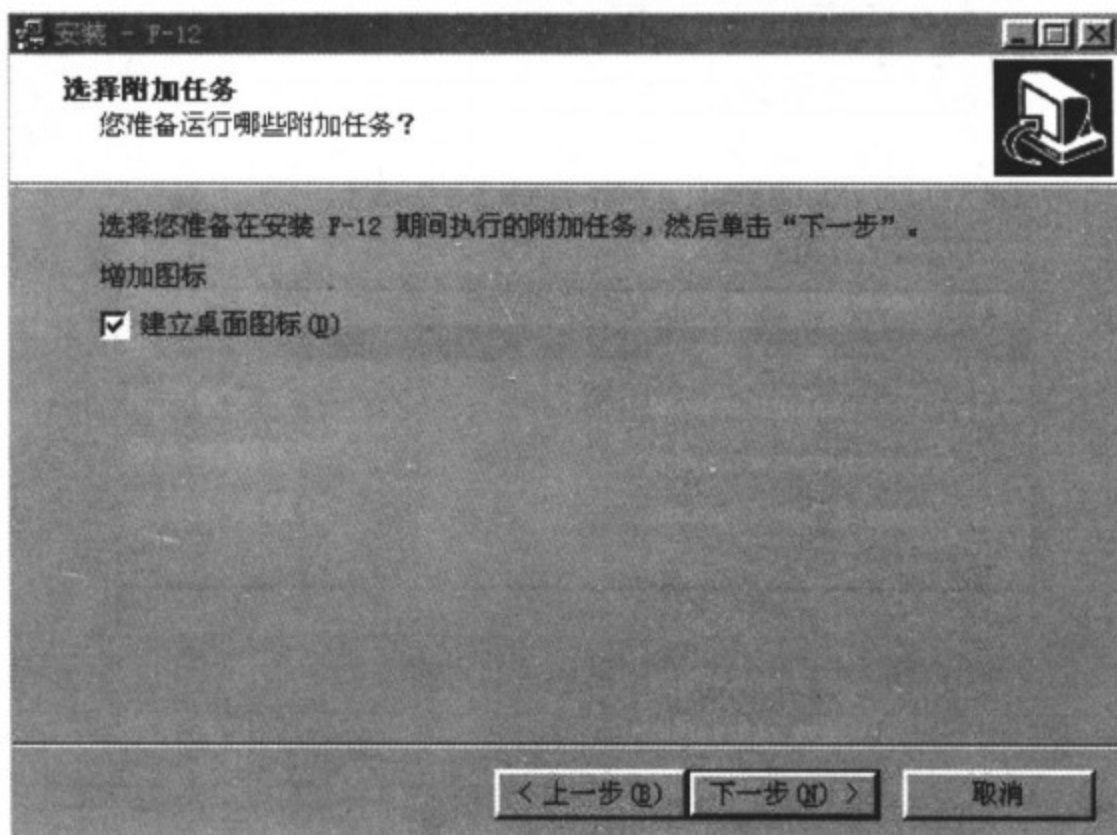


图 8-15 选择建立桌面快捷方式

示波器开始工作。在计算机上主界面屏幕上就会看到信号的信号。

三、界面组成

数字存储示波器 FlashDSO II 的主界面是由菜单区、状态区、显示区、功能区、控制区 5 个部分组成。

1. 菜单区

菜单区各功能描述如表 8-3 所列。

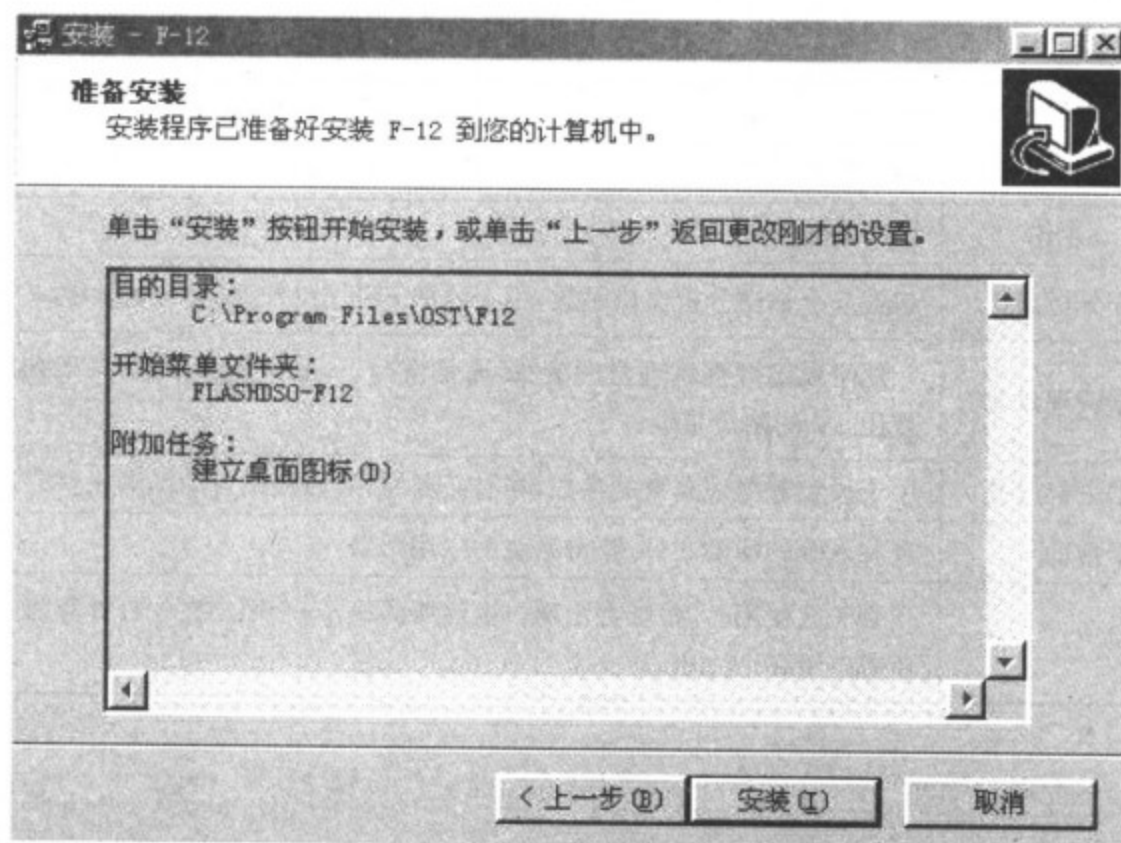


图 8-16 确定安装

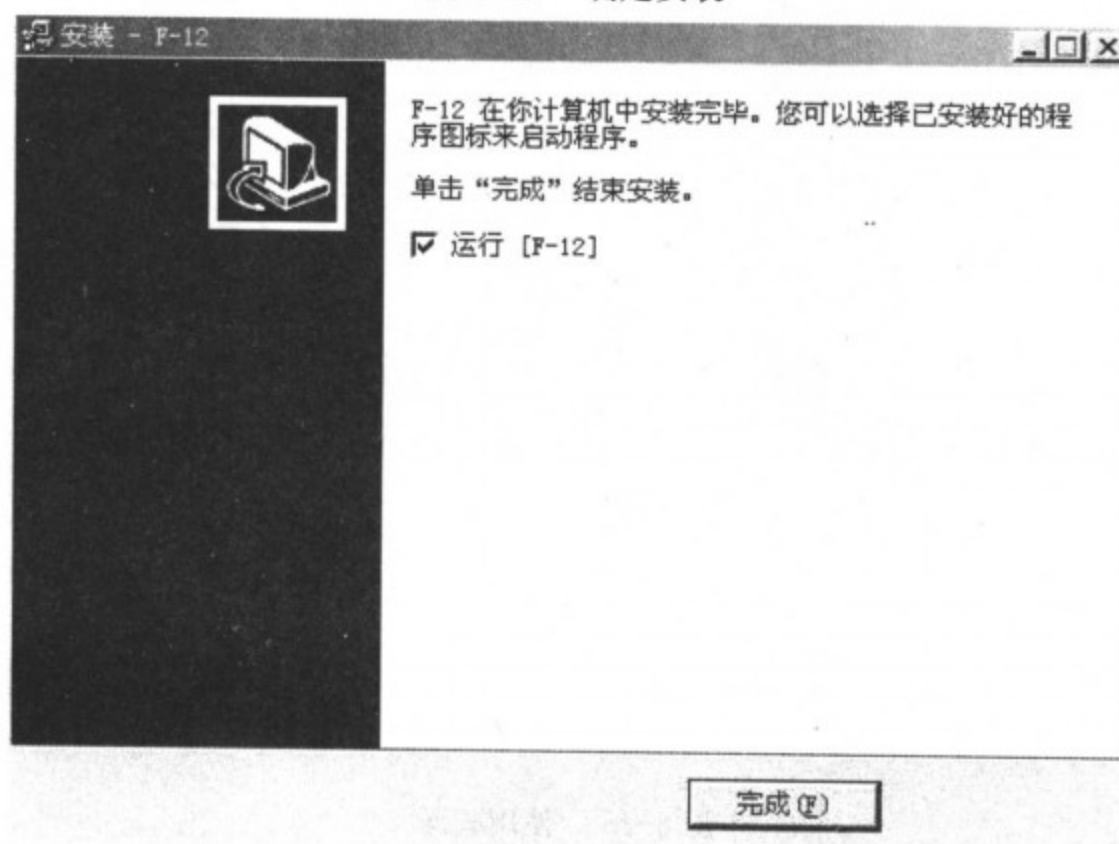


图 8-17 安装完成

表 8-3 菜单区各功能描述

总菜单	子菜单	功能描述
文件	装载数据	装载数据文件,后缀为 FDT,包含了一帧波形的数据,在随机的软件包中帶有一些实测的一些数据包,如 PAL 视频信号, FDT 等
	卸出数据	卸出数据文件,后缀为 FDT,包含了一帧波形的数据
	保存图像	将显示区的图像保存为 BMP 文件
	打印	将显示区的图像输出到打印机
	打印预览	预览显示区的图像

(续)

总菜单	子菜单	功能描述
文件	打印设置	用于打印机的设置
	退出	退出系统
设置	数据分析窗口	包含 5 个数据分析窗口函数,用于数据 FFT 分析时调整分析性能
	数据调理设备	用于设定数据调理盒的参数,通常情况下,使用默认参数,一般新版的 FlashDSO 使用 5V 的测量基准
	数据采集设备	用于设定数据采集盒的参数,当有必要时,可以使用自动配置来获取正确的参数
帮助	关于帮助	查看系统的帮助文件,获得系统的应用帮助
	注册	第一次使用时,系统会出现一个注册画面,一个用户在一台计算机上安装时,需要免费申请一个注册码

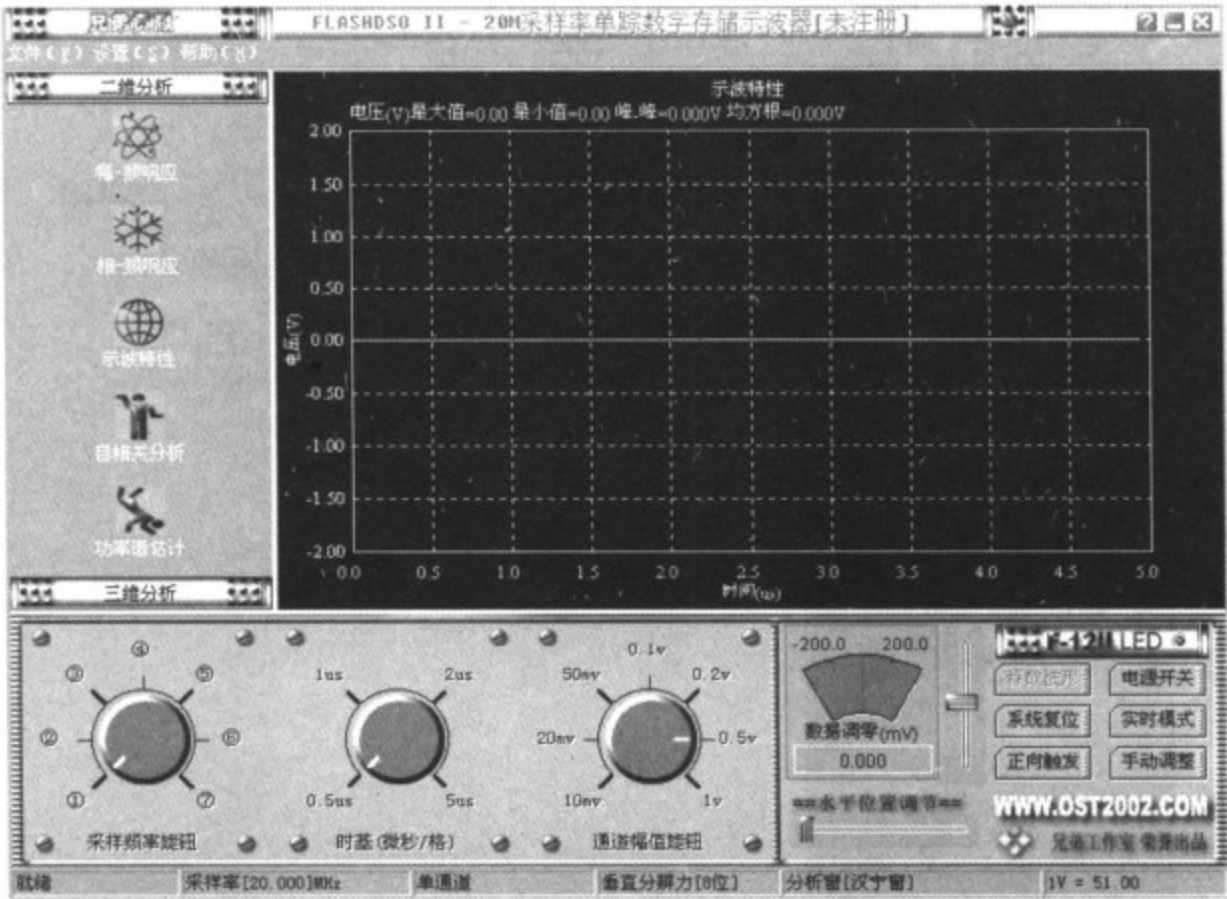


图 8-18 使用画面

2. 状态区

状态区位于主界面的最下方,共分为 6 栏,分别表示软件操作提示、状态、采样率、通道数、分析窗、电压值。

3. 显示区

当把鼠标放在示波窗口时,单击鼠标的左键,就会出现一个白色十字架,可以显示水平与垂直的数据。在显示画面上有标题、刻度、提示信息等。示波区采用了国际流行的 8×10 画面格式,使用黑色屏幕与绿色线条。

4. 控制区

控制区在状态区上部,各控制元件如表 8-4 所列。

表 8-4 控制元件功能描述

控制元件	功能描述
通道幅值旋钮	通道幅值是指调节示波窗口中由虚线组成的方格的垂直幅度,使用 1-2-5 进制,共分 10mV、20mV、50mV、0.1V、0.2V、0.5V、1V 7 个挡位。在当波形的幅度过大或过小时,调节通道幅值的挡位可得到理想可观测的波形
采样频率档位	采样频率档位由 40MHz、10MHz、5MHz 4 部分组成
时间基准旋钮	时间基准旋钮是指调节示波窗口中由虚线组成的方格的时间刻度。使用 1-2-5 进制 (200ns~50ms),当选了相应的采样频率挡位,就会有相应的时基旋钮。时基旋钮分为 7 个挡位。当采样频率挡位的不同,波形过密或过疏时,调节时基旋钮得到理想可观测的波形
数据调零滑杆	数据调零滑杆是指调节波形零电压的基准线,可以用于校准,将示波探头的两条线连接起来,调节数据调零滑杆,使中间的波形线接近 0V 即可
水平位置滑杆	水平位置滑杆用于观看其他在显示区外的数据,可以更完整的浏览波形数据
电源开关	只有按下电源开关,数字存储示波器 FlashDSO 才能工作。当正常工作时,LED 的灯是亮的。
系统复位	当按下系统复位时,数据调零滑杆同水平位置滑杆将会同时回到初始状态
释放波形	当按下释放波形时,波形将会继续跳动
锁定波形	当按下锁定波形时,波形将会保留在屏幕上静止不动,这时可以卸出数据、保存图像、打印等;当再次按下时,波形将会跳动
单步模式	当按下单步模式时,仪器将工作在单步模式,采集完一帧数据后自动停止
实时模式	当按下实时模式时,仪器将工作在实时模式,一直工作等到电源关掉为止
正向触发	当按下正向触发时,波形将以正向显示,当再次按下时,波形将以负向显示
自动调整	当按下自动调整时,波形将会自动充满屏幕上,这时通道幅值旋钮将失效;当再次按下时,波形将会以通道幅值旋钮的刻度为准显示

5. 功能区

功能区由二维分析与三维分析组成,在显示区的左边,各功能项详细描述如表 8-5 所列。

表 8-5 功能区各功能项描述

功能项	详细描述
幅频响应	幅频响应是指在频域内,将波形通过振幅 H 作为频率 f 的函数 $H(f)$ 来描述
相频响应	相频响应是指在频域内,波形的相位与频率之间的关系
示波特性	示波特性是指在时域内,用波形幅度 h 与时间 t 之间的函数 $h(t)$ 来描述波形
自相关分析	自相关函数是功率密度谱的傅里叶变换,自相关分析完全丢弃了信号的相位信息,但保存了信号的幅度信息,对于周期信号,由于周期信号与本身完全相关,而与随机噪声之间的相关性很弱,因此自相关分析可以从噪声中提取有用的周期信号
功率谱分析	信号的功率密度函数描述了信号中的各种频率成分的平均功率是如何在频域中分布的

第四节 电视机示波器

下面介绍一款奇特的虚拟仪器——电视机示波器，它是一套基于电视机接口的虚拟仪器，包含了数字示波器、频谱分析仪等仪器，电视机示波器拥有精美的接口及友好的人机交互、FFT 信号分析方法，以电视机作为人机交互界面，无需个人计算机即可使用，是一套普及型虚拟仪器，更新的信息请浏览 <http://www.ost2002.com>。

下面将就电视机示波器的原理及使用等方面作一个简要介绍。

一、基本原理

电视机示波器原理图如图 8-19 所示。

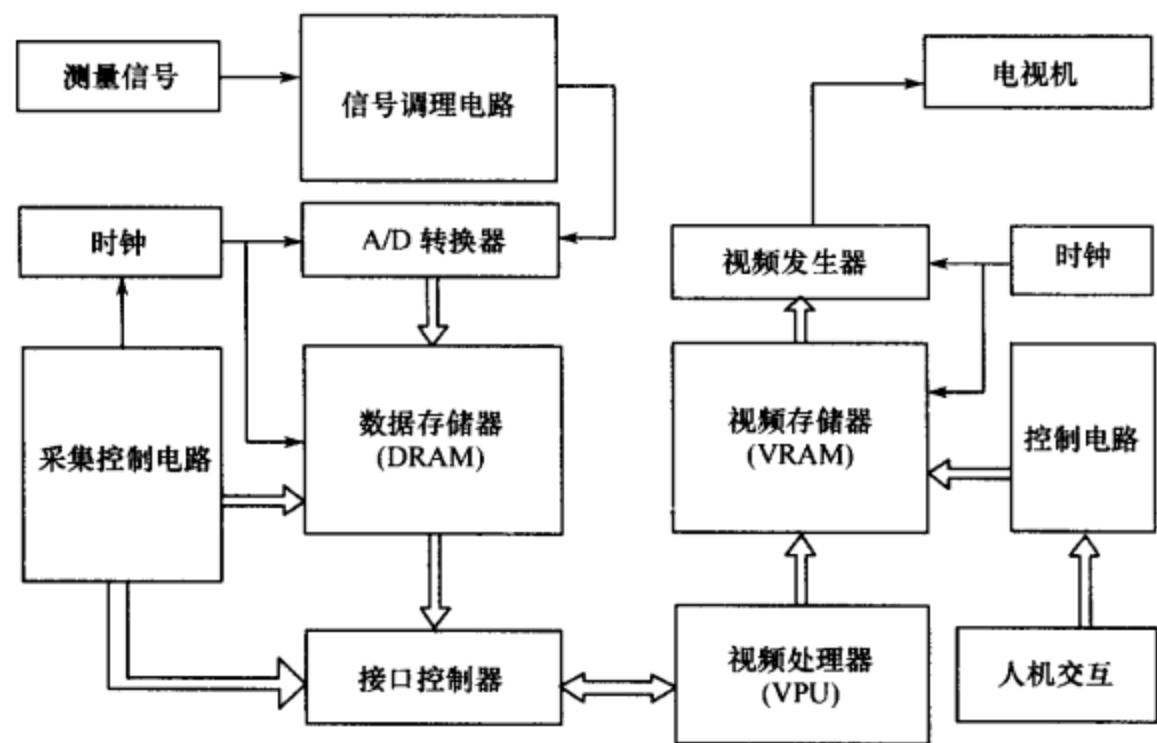


图 8-19 电视机示波器原理图

电视机示波器通过信号调理电路连接待测的模拟信号，然后通过高速模数转换器将模拟信号变为数字信号，并且保存到高速数据存储器 (DRAM) 中，并通过视频处理器 (VPU) 后传给视频存储器 (VRAM)，通过视频发生器将图像显示在电视机上，视频处理器 (VPU) 中编制了基于 FFT 方法的信号处理程序，用于分析数字信号，加上虚拟仪器面板，构成了易用的高性能个人虚拟仪器，整个设计采用先进的嵌入式技术、模块化设计，具有较高的性能价格比。

二、系统组成

电视机示波器的实际产品包含的部分如表 8-6 所列。

表 8-6 电视机示波器的实际产品包含的部分

组成部分	详细描述
示波探头	高频探头(1 : 1、10 : 1)
信号调理器	包含信号调理板、工作指示灯、电源插孔、BNC 接头、25 针插座

(续)

组成部分	详细描述
信号采集器	包含信号采集板 25 针插座及 25 孔插座
直流电源适配器	9V 200mA/300mADC 电源(芯为正极)
电视机显示适配器	包含 25 针插座、AV 端子、示波及频谱分析的测控软件
电视机视频电缆	连接电视机与显示适配器

三、准备工作

(1)使用新的电视机示波器时,先检查一下收到的所有配件,一定要包括以下的部分:示波探头、信号调理器、信号采集器、直流电源适配器、电视机视频电缆、电视机显示适配器等。当配件没有问题时,接下来要开始安装电视机示波器了。

(2)估计测量信号的幅度大小。一般要求采样率要高于被测信号频率的 4 倍以上,被采集的信号的幅度不要太高。另外,一定不要直接测量大电流、高电压的信号,如果测量不当有可能损坏电视机。

(3)将探头接上信号调理器,信号调理器接上信号采集器,信号采集器接上电视机显示适配器,最后将电源插入信号调理器,这时在信号调理器的红色发光二极管就会发亮。当开始采集时,信号调理器的绿色发光二极管将会闪动。

四、基本操作

当以上的准备工作完成后好了以后,就可以开始测量了。当电源插入信号调理器时,在电视机上主界面屏幕上就会看到信号的波形。

我们可以开始试一试电视机示波器的基本操作。

1. 数字示波器

数字示波器在无线电、电子测量中是最常用的仪器,通过它可以用来观察信号的变化,在电视机的屏幕上的虚拟仪表面板上有参数区、幅度区、时基区、模式区、锁定区、显示区等组成部分。

参数区中显示有当前系统参数及信号测量参数等信息。

时基区包括:500ns~4ms 等挡位。

幅度区包括:50mV~0.5V 等挡位。

模式区包括:示波模式和频谱分析模式。

锁定区包括:波形锁定和释放等功能。

显示区被分为 10×10 的小格,便于观测,如图 8-20 所示。

2. 频谱分析仪

频谱分析仪是一般模拟示波器所没有的功能,电视机示波器提供了 FFT 信号分析方法,通过幅频特性可以更清楚的看到波形的频域特性,可以了解信号的频率成分,谱线最高部分表示了信号的主要频率成分。

以上是关于电视机示波器的介绍与基本使用,在实际应用中,电视机示波器可以用来测量各种类型电信号,可以测量 PAL/NTSC 视频信号、数字信号、单片机时序、声音、脉搏、地震波等,可以应用于计算机、电视机、VCD/CD 机、音响等的维修及各种工业测量场合。



图 8-20 数字示波器

第五节 虚拟声卡仪器

虚拟声卡仪器是一个功能强大的基于个人计算机的虚拟仪器。它由声卡实时双踪示波器、声卡实时双踪频谱分析仪和声卡双踪信号发生器组成,这 3 种仪器可同时使用。该仪器内含一个独特设计的专门适用于声卡信号采集的算法,它能连续监视输入信号,只有当输入信号满足触发条件时,才采集一帧数据,即先触发后采集,因而不会错过任何触发事件。该仪器能达到 15 帧/s 的快速屏幕刷新率,从而实现了真正的实时信号分析和显示。同时,该仪器还支持各种复杂的触发方式包括超前触发和延迟触发。

虚拟声卡仪器发挥了以计算机屏幕作为显示的虚拟仪器的优点,支持图形显示的放大和滚动,并将屏幕的绝大部分面积用于数据显示,能够深入研究被测信号的任何细节。

虚拟声卡仪器提供了一套完整的信号测试与分析功能,包括:双踪波形、波形相加、波形相减、李莎育图、电压表、瞬态信号捕捉、RMS 绝对幅度谱、相对幅度谱、相位谱、自相关函数、互相关函数、函数发生器、任意波形发生器、白噪声发生器、粉红噪声发生器、多音合成发生器和扫频信号发生器等。

虚拟声卡仪器将采集到的数据和分析后的数据保存为标准的 WAV 波形文件或 TXT 文本文件。它也支持 WAV 波形文件的输入和 BMP 图像文件的输出和打印。

一、性能指标

虚拟声卡仪器是一个功能强大的基于个人计算机的虚拟仪器,它包括以下 3 种仪器。

1. 虚拟声卡示波器

这是一个基于声卡的双踪示波器,它拥有数字示波器所具有的功能,并提供实时双踪波形显示、实时波形相加显示、实时波形相减显示和实时李莎育图显示。主要性能指标如下。

- (1) 扫描时间。100s~500s(取决于计算机内存)。
- (2) 带宽。20Hz~96kHz(取决于声卡)。
- (3) 输入电平。大约交流(AC)1V(取决于声卡)。
- (4) 可选择采样频率(最大 192kHz)、采样位数(8 位或 16 位)和采样通道(单通道或

双通道)(取决于声卡)。

(5)3种触发模式。自由、重复和单次。

(6)可选择触发通道、触发电平和触发升降沿。

(7)可选择超前触发和延迟触发,选择范围从采样长度的0%~100%。

(8)连续监视输入信号,从而确保了不会错过任何触发事件。

(9)可用于瞬态信号的捕捉,能记录多达500s的数据(取决于计算机内存)。

(10)4种波形显示。实时双踪波形显示、实时波形相加显示、实时波形相减显示和实时李莎育图显示。

(11)X轴和Y轴可独立缩放和滚动。

(12)可显示和分析WAV波形文件。

(13)可将采集到的测量数据保存为WAV波形文件或输出为TXT文本文件。

(14)可打印数据曲线或将它保存为BMP图像文件。

(15)可标定输入通道,从而能显示被测量的绝对值。

(16)可对测量数据加注文字说明。

(17)数据显示刷新快。大约15帧/s,因此数据的显示和分析达到了真正的实时。

(18)可设置显示颜色,包括背景颜色、通道A曲线及文字颜色、通道B曲线及文字颜色和网格颜色等。

(19)可具体指定每帧数据的采集点数。

(20)可显示每帧数据的最大值、最小值、时均值、均方根(RMS)值,因此可作电压表用。

(21)每个数据显示窗口拥有两个光标读数器,能读出所在点的XY读数。

2. 虚拟声卡频谱分析仪

这是一个基于声卡的双踪频谱分析仪,它提供实时幅度谱显示、实时相位谱显示、实时自相关函数显示和实时互相关函数显示。并可调节快速傅里叶变换的点数(范围128点~32768点)和选择窗函数(矩型窗、三角窗、汉宁窗、哈明窗、布莱克曼窗)。主要性能指标如下。

(1)频率范围。最高到96kHz(取决于声卡)。

(2)带宽。20Hz~96kHz(取决于声卡)。

(3)输入电平。大约交流(AC)1V(取决于声卡)。

(4)可选择采样频率(最大192kHz)、采样位数(8位或16位)和采样通道(单通道或双通道)(取决于声卡)。

(5)3种触发模式。自由、重复和单次。

(6)可选择触发通道、触发电平和触发升降沿。

(7)可选择超前触发和延迟触发,选择范围从采样长度的0%~100%。

(8)连续监视输入信号从而确保了不会错过任何触发事件。

(9)可用于瞬态信号的捕捉,能记录多达500s的数据(取决于计算机内存)。

(10)4种显示类型。实时幅度谱显示(有相对显示模式和绝对显示模式(RMS模式))、实时相位谱显示、实时自相关函数显示、实时互相关函数显示。

(11)X轴和Y轴可独立缩放和滚动。

(12)X轴和Y轴可独立设置为线性或对数刻度。

(13)可显示和分析 WAV 波形文件。

(14)可将采集到的测量数据保存为 WAV 波形文件或输出为 TXT 文本文件。频谱分析和相关分析的结果可以输出为 TXT 文本文件。

(15)可打印数据曲线或将它保存为 BMP 图像文件。

(16)可标定输入通道,从而能显示被测量的绝对值。

(17)可对测量数据加注文字说明。

(18)数据显示刷新快。大约 15 帧/s(测试环境:Windows 98,奔腾 II,扫描时间=10ms,示波器和频谱分析仪工作于自由触发模式),因此数据的显示和分析达到了真正的实时。

(19)可设置显示颜色,包括背景颜色、通道 A 曲线及文字颜色、通道 B 曲线及文字颜色和网格颜色等。

(20)可具体指定每帧数据的采集点数。

(21)可调节快速傅里叶变换的点数,调节范围为 128 点~32768 点。

(22)允许采样长度与快速傅里叶变换的点数不同。如果 FFT 的点数比采样点数多,则在采集到的数据的尾部添零后再计算 FFT。如果 FFT 的点数比采样点数少,则将采集到的数据分为多段数据,每段数据的长度与 FFT 的点数一样。最终的结果由每段数据的结果平均而成。

(23)可设置窗函数。矩型窗、三角窗、汉宁窗、哈明窗、布莱克曼窗。

(24)能显示峰值频率和互相关函数的峰值时延。

(25)每个数据显示窗口拥有两个光标读数器,能读出所在点的 XY 读数。

3. 虚拟声卡信号发生器

这是一个基于声卡的双踪信号发生器(扫频信号发生器/任意波形信号发生器/函数信号发生器),它提供正弦波、方波、三角波、锯齿波、白噪声、粉红噪声、多音合成、自定义波形(波形库)等多种信号。它既可按所指定的固定频率产生所指定的波形,也可以按线性或者对数扫频的方式在指定的时间及频率范围内产生所指定的波形。主要性能指标如下。

(1)带宽。20Hz~96kHz(取决于声卡)。

(2)输出电平。大约交流(AC)1V(取决于声卡)。

(3)可选择输出采样频率(最大 192 kHz)、采样位数(8 位或 16 位)和采样通道(单通道或双通道)(取决于声卡)。

(4)可按指定的频率(1Hz~96kHz)产生预先定义的波形:正弦波、方波、三角波、锯齿波。

(5)可产生白噪声和粉红噪声。

(6)可进行多音合成,即将预先定义的几种波形按各自指定的频率和振幅混合,还可加入指定幅度的白噪声或粉红噪声。每个通道最多可混合 32 种音调。

(7)可通过波形库文件自定义任意波形。波形库文件是一个 TXT 文本文件,内含一个周期的波形图上的每个点的坐标。最多可用 1024 个点来定义一个波形。

(8)预先定义的波形,多音合成和自定义的波形可以按线性或者对数扫频的方式在指定的时间及频率范围内生成相应波形的扫频信号。

(9)如果两通道的输出信号具有相同的频率,则还可设定它们之间的相位差。

(10)输出信号幅度可调。

- (11)生成的信号可保存为 WAV 波形文件或 TXT 文本文件。文件长度可在 1s~1000s 范围内指定。
- (12)可标定输出通道,从而能按绝对值输出。

二、输入输出的连接

虚拟声卡仪器使用声卡作为输入输出设备。对于示波器和频谱分析仪,被测信号可连接到声卡的话筒输入口或线路输入口。对于信号发生器,生成的信号可从喇叭输出口或线路输出口输出。

在通常情况下,声卡话筒输入口的输入阻抗在 $1500\Omega\sim20k\Omega$ (取决于声卡),它要求输入信号强度应大于 10mV 左右,并只允许单通道输入。

对于声卡线路输入口,它的输入阻抗通常在 $10k\Omega\sim47k\Omega$ (取决于声卡),允许的输入信号强度范围为 500mV~2V (取决于声卡)。在可能的情况下,应尽量使用声卡的线路输入来检测信号,因为它的信噪比(SNR)和带宽都比话筒输入口好。

声卡线路输出口的输出阻抗在 $20\Omega\sim500\Omega$ (取决于声卡),能输出大约 2V 的信号。它比喇叭输出口的信噪比好。

声卡喇叭输出口的输出阻抗约为 8Ω (取决于声卡),能输出大约 2W 的功率。

最简单的输入连接就是直接将被测信号连到声卡的线路输入口或话筒输入口,如图 8-21 所示。

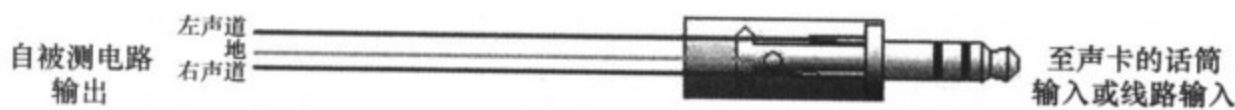


图 8-21 话筒输入或线路输入

注意 这种连接要求额外小心,在连接前必须保证被测信号的幅度在声卡所允许的范围内,否则可能会烧坏声卡甚至计算机。

当输入信号幅度超过声卡允许的范围,应将它衰减后再连入声卡。为了避免过大的电压进入声卡,可采用如图 8-22 所示的限压电路。两个串联的硅二极管将输入电压钳制在 $2\times6.5=1.3V$ 左右。如果声卡的模/数转换范围因此受到限幅影响,则可多串联一个硅二极管以将输入电压钳制在 $3\times6.5=1.95V$ 左右。以上电路仅限于当输入电压在 $\pm50V$ (也取决于电阻阻值、最大允许功率和硅二极管的最大允许电流)内时,保护声卡免遭意外损坏。

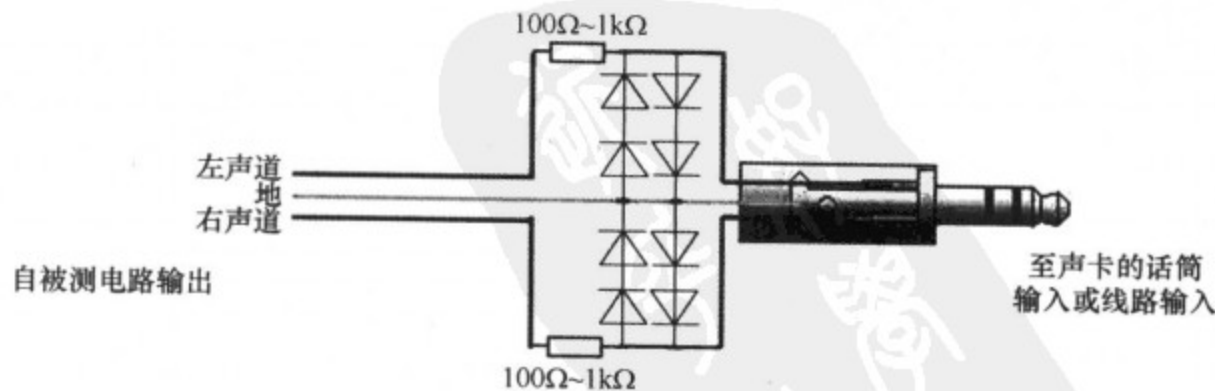


图 8-22 限压电路

为保证测量的准确性,被测电路在被测点处的输出阻抗应小于声卡的输入阻抗,否则被测信号将不能正常地传递给声卡。在这种情况下,需要给声卡加入一级前置放大器,以提高声卡的输入阻抗。此前置放大器也可加入信号放大、衰减和输入保护作用。

声卡的输出连接如图 8-23 所示。

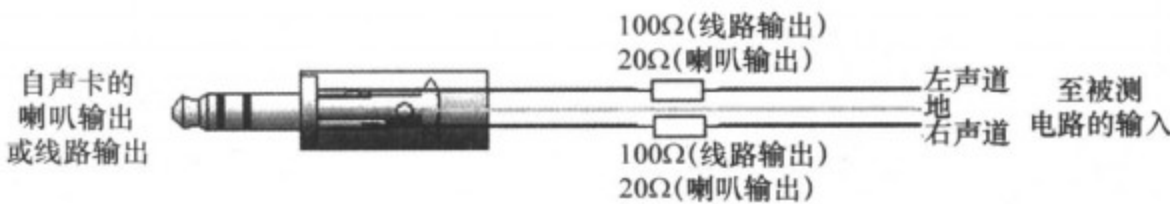


图 8-23 声卡输出电路

在不小心将输出短路的情况下,串联的电阻可起保护作用。如果非常小心,则该电阻可以省掉。由于声卡的输出阻抗很小,当连接到外部电路时通常将不会遇到任何阻抗匹配的问题。

三、软件的安装

读者可在 <http://w3.virtins.com> 网站上免费下载虚拟声卡软件 CScinsSetup 简体中文版。双击 CScinsSetup,按照安装向导提示,将软件安装到计算机中。详细的安装步骤如下。

(1)安装向导。安装向导如图 8-24 所示。

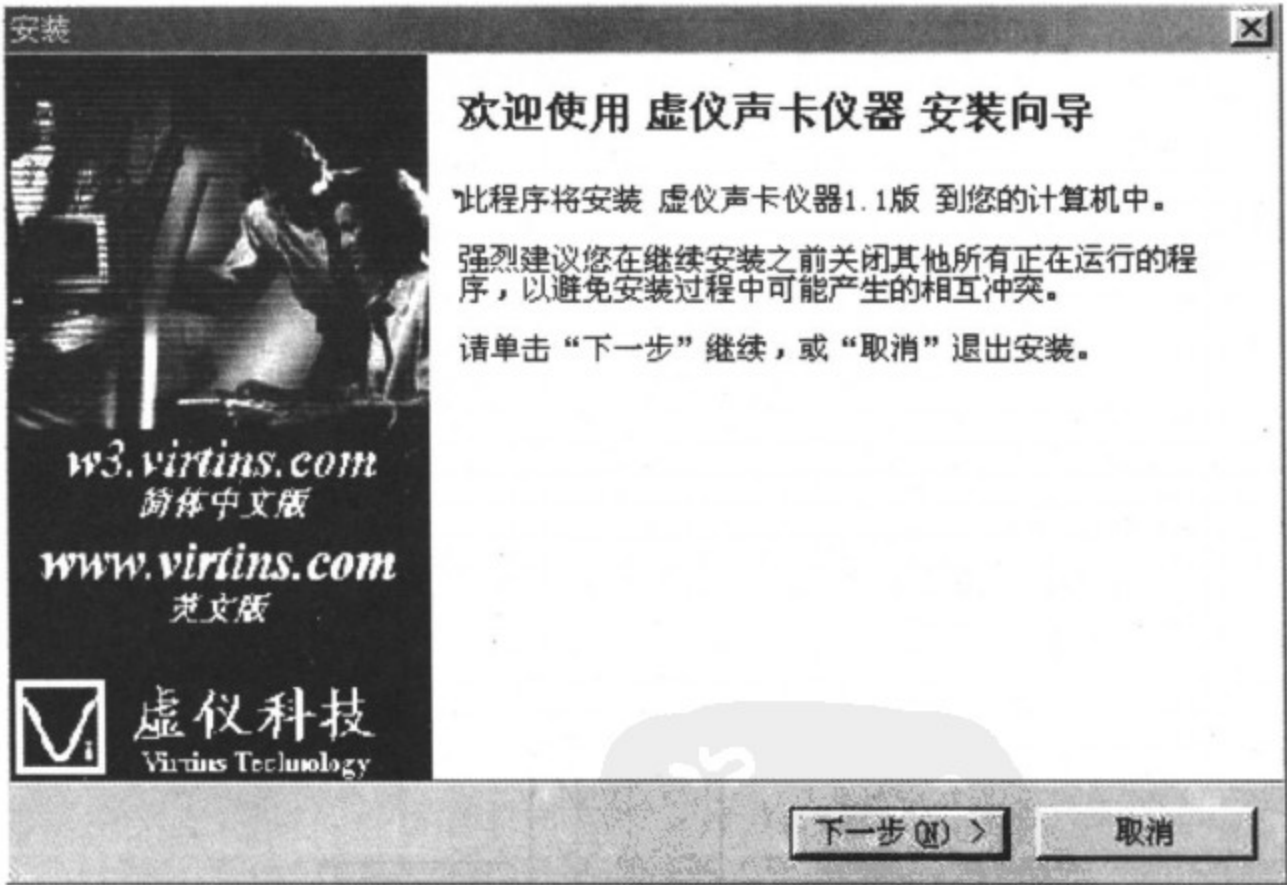


图 8-24 安装向导

(2)安装许可协议。点击下一步,出现安装许可协议,如图 8-25 所示。

(3)选择目标文件夹。点击我接受协议,出现选择目标文件夹对话框,如图 8-26 所示。

(4)选择开始菜单文件夹。点击下一步,出现准备安装对话框,如图 8-27 所示。

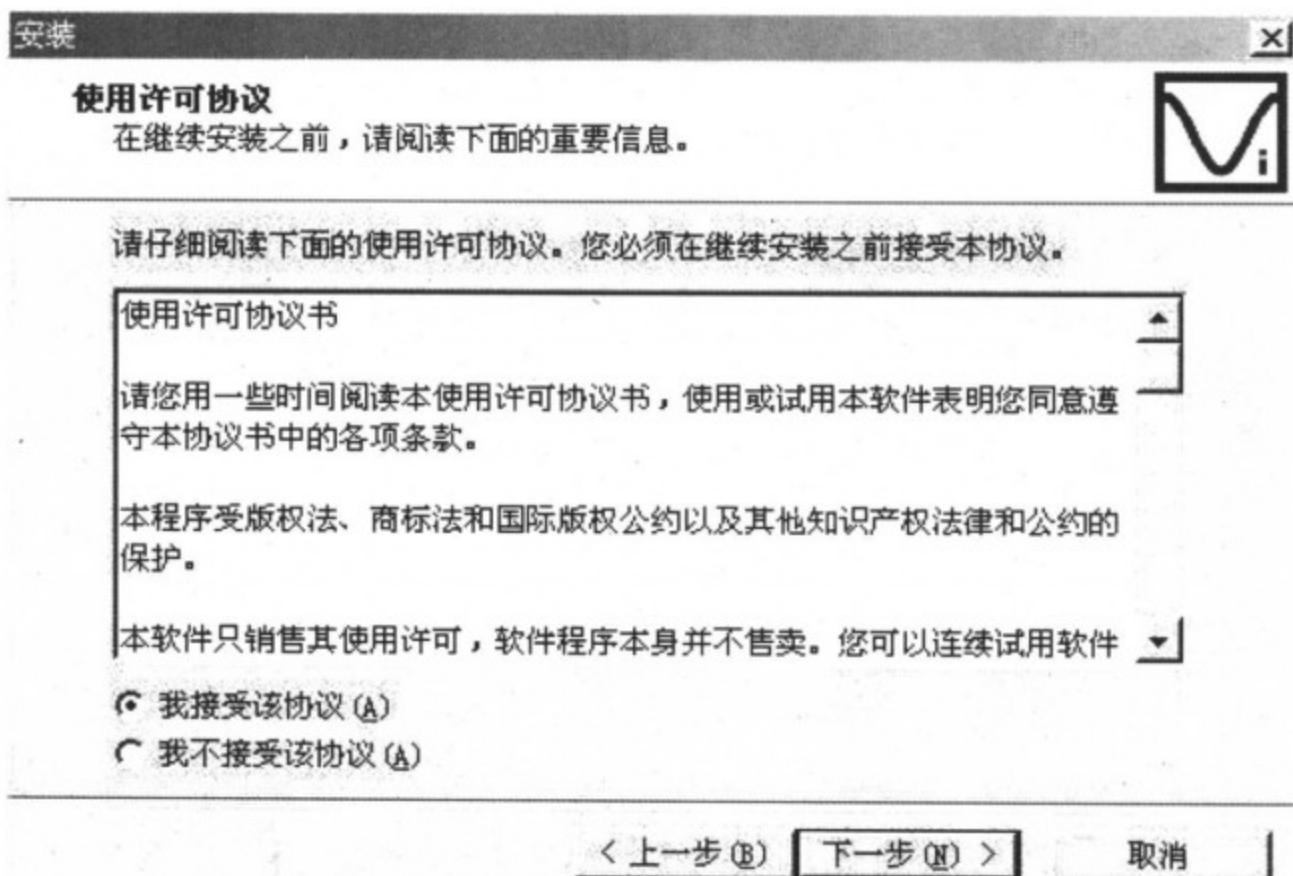


图 8-25 安装许可协议

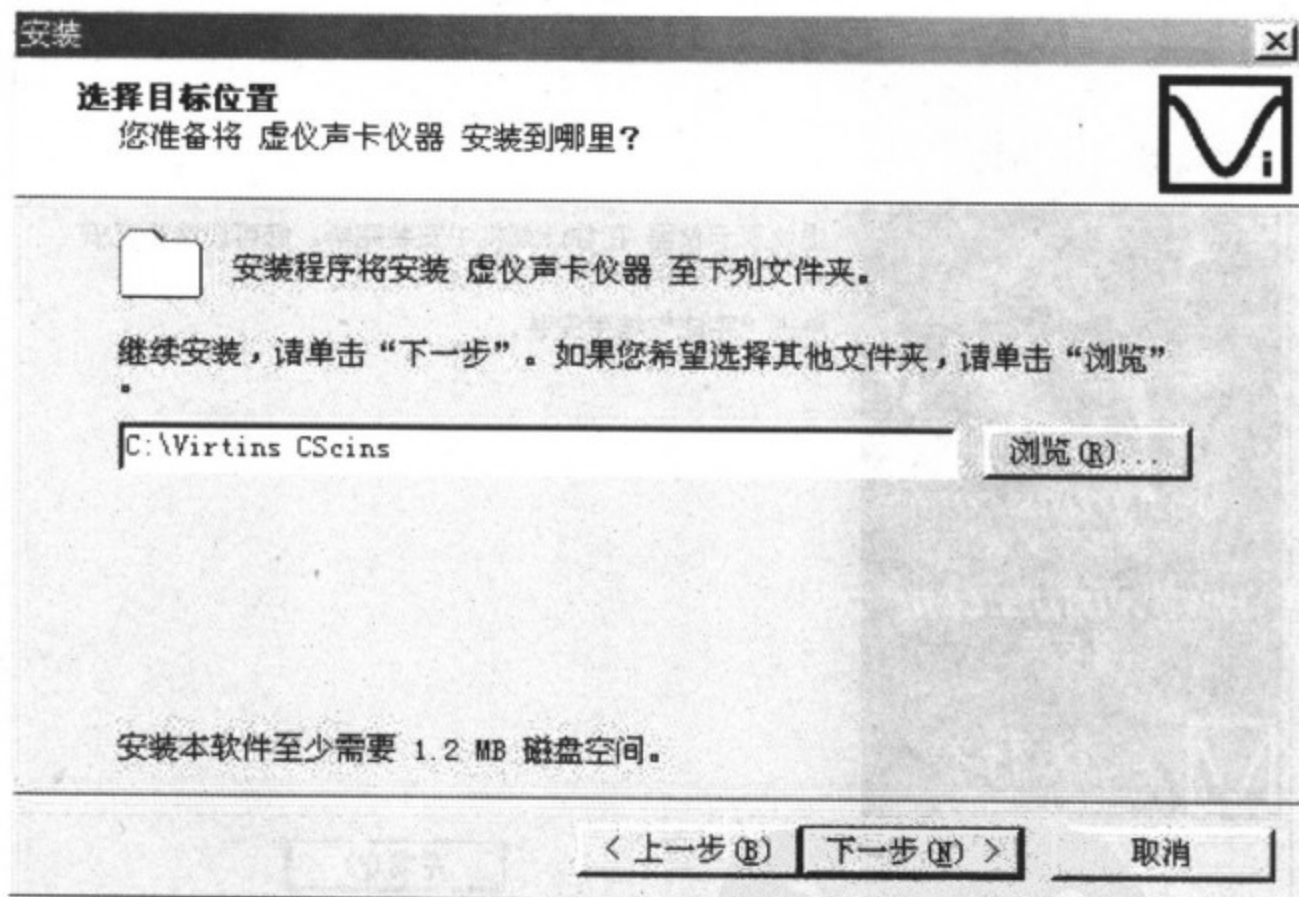


图 8-26 选择目标文件夹

(5)安装完成后，如图 8-28 所示。

四、示波器的使用

从开始菜单中启动“虚拟声卡仪器”后，将出现如图 8-29 所示的示波器界面。

1. 菜单说明

1)文件菜单

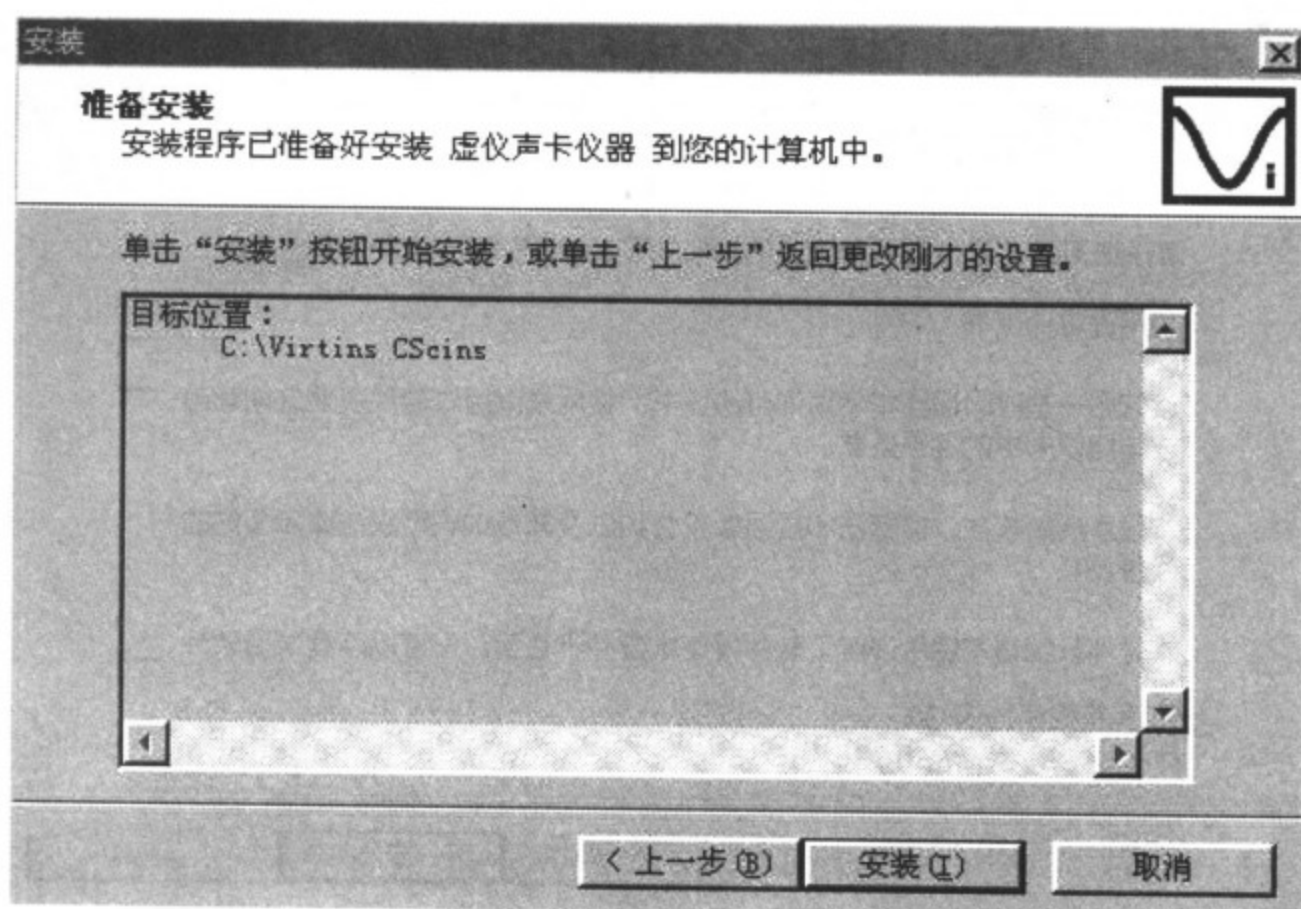


图 8-27 准备安装



图 8-28 安装完成

文件菜单如图 8-30 所示。

新建:执行此命令将创建一个新的空文件用于新的测量,它将总是保存最新采集到的一帧数据。当示波器和频谱分析仪都未打开时,按动仪器条上的“示波器”按键,也可执行此命令,创建一个新文件。

打开:执行此命令将打开一个旧文件,只有标准的 PCM 格式的 WAV 波形文件才可

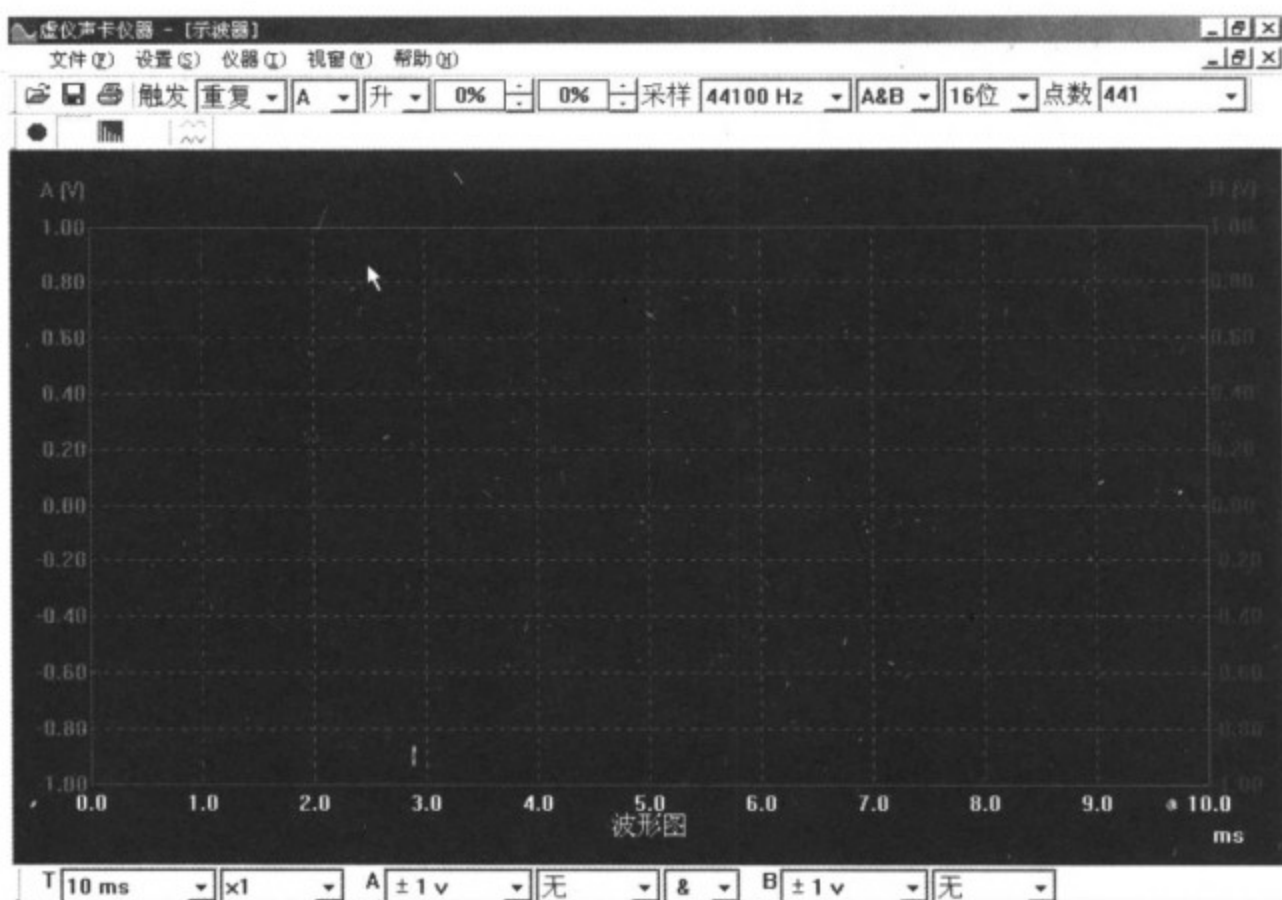


图 8-29 虚拟声卡示波器界面

被调入。在遇到不认识的文件格式时,错误信息会弹出。由于许多第三方软件都支持 PCM 格式的 WAV 波形文件,也可以使用那些软件,如视窗 Windows 提供的“录音机”记录数据,然后用本软件来分析和显示这些数据。按动采样参数条上的“打开”按键,也可打开一个旧文件。本仪器最多只允许打开一个文件。

关闭:执行此命令将关闭当前文件。若文件内容已被修改而且尚未存盘,则计算机将弹出一个信息来询问是否需要保存修改后的信息。

保存:执行此命令将保存当前文件。若当前文件是新的,则计算机将弹出一个信息要求输入文件名。按动采样参数条上的“保存”按键同样会执行此命令。

另存为:执行此命令可将当前文件保存到一个新指定的文件名中。

输出:执行此命令可将当前采集到的数据输出到一个 TXT 文本文件中,或者将当前显示的数据曲线输出到一个 BMP 图像文件中。执行此命令后,“另存为”对话框会弹出,然后通过选择“保存类型”框中的“文本文件(*.txt)”或“图像文件(*.bmp)”来选择输出 TXT 文本文件还是 BMP 图像文件。输出的文本文件可以输入第三方软件,如微软的 EXCEL,作进一步的分析与处理。

打印:执行此命令可将当前显示的数据曲线从打印机上打印出来。按动采样参数条上的“打印”按键同样会执行此命令。

打印预览:执行此命令可在打印前预先浏览一下所要打印的画面。

近期文件:这里显示的是最近打开过的 4 个文件,可以直接从这里选择一个文件来打开。

2) 设置菜单

设置菜单有 3 个子菜单,如图 8-31 所示。



图 8-30 文件菜单

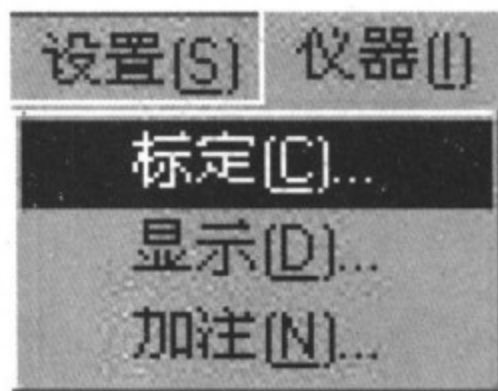


图 8-31 设置菜单

标定: 点击“标定”, 出现如图 8-32 所示的标定设置对话框。



图 8-32 标定设置对话框

可以对示波器和频谱分析仪的输入通道进行标定, 可用普通万用表的交流电压挡来测量某交变信号的交流电压, 即均方根值或 RMS 值, 然后与本仪器测得的数值相比较从而得到标定值。在条件允许的情况下, 也可采用信号发生器输出已知幅度的正弦信号来标定。最后, 只需将换算后得到的 8 位和 16 位模/数转换的最大电压值分别输入即可。在未标定时, 其默认值为 1000mV。

显示设置: 点击显示设置, 出现如图 8-33 所示的显示设置对话框。

在示波器和频谱分析仪中, 可调节以下显示参数:

背景颜色;

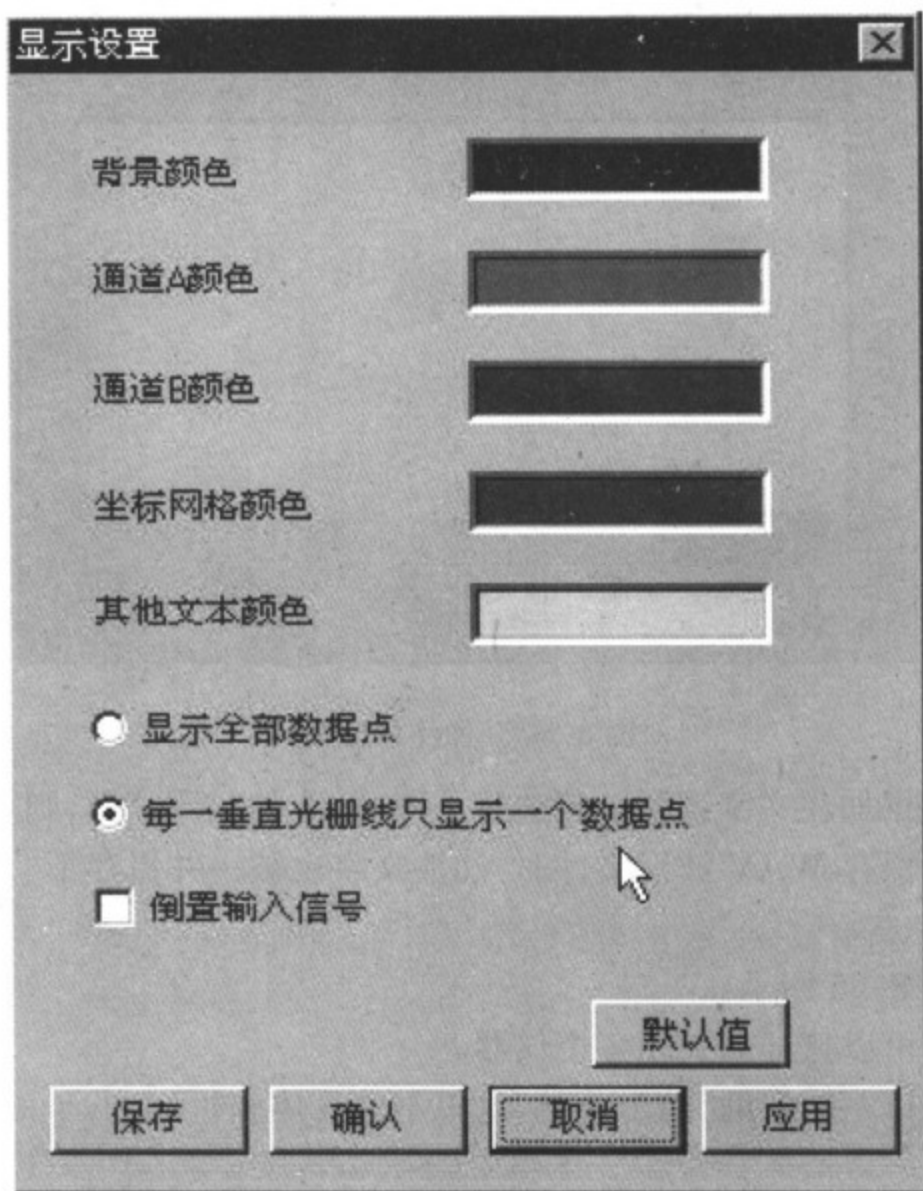


图 8-33 显示设置对话框

通道 A 颜色；

通道 B 颜色；

坐标网格颜色；

其他文本颜色，例如加注文字的颜色和 T 轴坐标刻度的颜色等。

点击上图的颜色框后会弹出一个选择颜色的对话框，可选择喜欢的颜色。

重点提示 本仪器提供两种方法来显示一帧数据。

一是显示全部数据点。在此模式下，窗口会显示全部数据点。当数据点总数超过绘图区域的垂直光栅线数目时，每一垂直光栅线上可能显示多个数据点。例如，如果一帧数据有 10000 点，而绘图区域的垂直光栅数目为 1000 条，则平均每条垂直光栅线上会显示 10 个数据点。这种显示模式的优点是可以看到所有的峰值而不会错过。缺点是屏幕刷新慢，当数据点总数太大时，显示比较杂乱。

二是每一垂直光栅线只显示一个数据点。在此模式下，每一垂直光栅线只显示一个数据点，该点的纵向值由采集到的数据插值得到。这种显示模式的优点是当数据点总数很大时，屏幕刷新仍然非常快。缺点是也许会错过一些数据特征，比如峰值。

这里需要说明的是，数据的分析如频谱分析等，都是基于全部采集到的数据而不受以上显示模式选择的影响。

加注：点击“加注”，出现如图 8-34 所示的加注对话框。

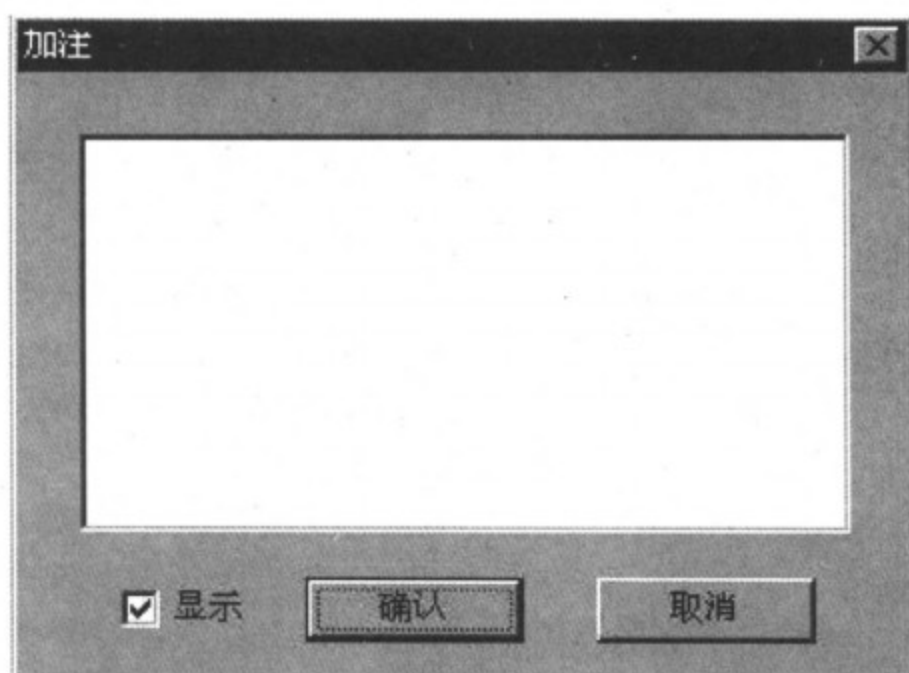


图 8-34 加注对话框

可以给测量数据加注文字说明。若选择了图 8-33 的“显示”框,则加注文字将显示在数据曲线窗口内。保存 WAV 波形文件时,加注文字也被一并保存了。

3) 仪器菜单

仪器菜单如图 8-35 所示。

在此子菜单下可以打开或关闭各个仪器。

另外,还有“窗口”和“帮助”两个菜单,这里不再具体分析。

2. 触发参数

1) 触发模式

该仪器支持 3 种触发模式,如图 8-36 所示。

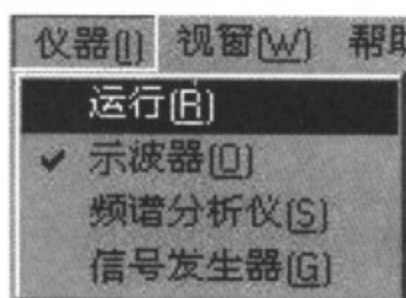


图 8-35 仪器菜单



图 8-36 触发模式

自由模式:在此模式下,没有同步触发,仪器会连续不断地采集一帧一帧的数据并进行分析和显示。不能选择触发源、触发沿、触发电平和触发延迟。

重复模式:在此模式下,按照指定的同步触发条件,仪器会连续不断地采集一帧一帧的数据并进行分析和显示。可选择触发源、触发沿、触发电平和触发延迟。

单次模式:在此模式下,按照指定的同步触发条件,仪器将采集一帧而且是第一帧数据并进行分析和显示。可选择触发源、触发沿、触发电平和触发延迟。本模式尤其适用于对瞬态信号的捕捉。

2) 触发源

触发源如图 8-37 所示。

对于单通道(A)采集,触发源只能是通道 A 而不能选择。

对于双通道(A、B)采集,则可选择触发源,或者是通道 A,或者是通道 B。

3) 触发沿

触发沿如图 8-38 所示。

可选择两种触发沿:上“升”沿或下“降”沿。如果选择上“升”沿,则当信号从下往上穿过触发电平时将触发数据采集。如果选择下“降”沿,则当信号从上往下穿过触发电平时将触发数据采集。

4) 触发电平

触发电平如图 8-39 所示。

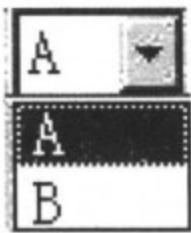


图 8-37 触发源



图 8-38 触发沿

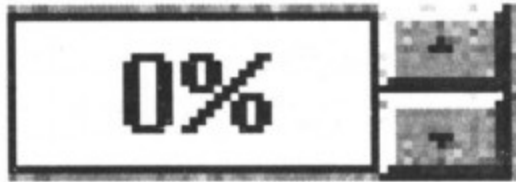


图 8-39 触发电平

触发电平以百分比表示,范围为 $-100\% \sim 100\%$ 。 -100% 和 100% 分别对应于声卡模/数转换范围的最低端和最高端。

5) 触发延迟

触发延迟选择框位于触发电平选择框的右边。它以扫描时间的百分比表示,范围为 $-100\% \sim 100\%$ 。正数为延迟触发,负数为超前触发。

3. 采样参数

采样参数如图 8-40 所示。



图 8-40 采样参数

采样参数和触发参数决定了本仪器如何采集一帧数据。采样能力完全取决于声卡。当按下“运行”键后,本仪器将尝试用指定的采样参数进行采样。如果所用的声卡不支持这些采样参数,则会弹出错误信息。示波器和频谱分析仪将共用这些采样参数。

(1) 采样频率。可选择以下采样频率:2 000Hz、4 000Hz、8 000Hz、11 025Hz、22 050Hz、44 100Hz、48 000Hz、96 000Hz、192 000Hz。

(2) 采样通道。有两个选项:A(只采集通道 A)和 A&B(同时采集通道 A 和通道 B)。

(3) 采样位数。有两个选项:8 位和 16 位。

(4) 采样点数。采样点数决定了每帧数据的记录长度。在通常情况下,并不需要直接指定采样点数,因为它可由扫描时间和采样频率来决定,即采样点数=扫描时间/采样频率。当改变扫描时间或采样频率时,采样点数会自动随之改变。在某些情形下,可能希望直接指定采样点数,例如,可能希望采样点数为 10 的整数倍或者是 2 的整数次方,那么可以直接选择或键入所需要的采样点数,扫描时间将自动随之改变以正好将全部的采样点数包括在内。

采样点数有 8 项选择:50、100、200、500、1000、2000、5000、10000。

也可以直接键入所需要的采样点数。如果采样点数太大,超过了计算机内存容量,则会有错误信息弹出。

4. 显示参数

显示参数决定了如何分析和显示被采集到的数据,如图 8-41 所示。



图 8-41 显示参数

1) 扫描时间

扫描时间有 $100\mu\text{s}$ ~ 500s 共 20 多个挡位。

2) 扫描时间显示放大倍数

扫描时间显示放大倍数是水平坐标轴的放大倍数,它有 10 项选择: $\times 1$ 、 $\times 2$ 、 $\times 5$ 、 $\times 10$ 、 $\times 20$ 、 $\times 50$ 、 $\times 100$ 、 $\times 200$ 、 $\times 500$ 、 $\times 1000$ 。当选择“ $\times 1$ ”时,显示窗口将以其可视宽度显示整个扫描时间范围。如果将扫描时间显示放大倍数置于大于 1 的“ $\times N$ ”挡,则显示窗口在其可视宽度内只显示整个扫描时间范围的 $1/N$ 。显示窗口的底部还将出现一个水平滚动条,移动它可滚动显示整个扫描时间范围。

此参数适用于除李莎育图之外的示波器的所有显示窗口。

3) 通道 A 电压显示范围

指定通道 A 的电压显示范围,有以下几个选择:无、 $\pm 20\text{mV}$ 、 $\pm 50\text{mV}$ 、 $\pm 100\text{mV}$ 、 $\pm 200\text{mV}$ 、 $\pm 500\text{mV}$ 、 $\pm 1\text{V}$ 、 $\pm 2\text{V}$ 、 $\pm 5\text{V}$ 、 $\pm 10\text{V}$ 、 $\pm 20\text{V}$ 、 $\pm 50\text{V}$ 。当选择“无”时,示波器将不会显示通道 A 中的信号。

此参数适用于示波器的所有显示窗口。不过请注意,在显示波形相加或波形相减时,本参数代表“通道 A+通道 B”,或“通道 A-通道 B”。

4) 通道 A 电压显示放大倍数

通道 A 电压显示放大倍数,有 5 项选择:无、 $\times 1$ 、 $\times 2$ 、 $\times 5$ 、 $\times 10$ 。当选择“无”时,显示窗口将以其可视长度显示通道 A 整个电压范围。当选择“ $\times 1$ ”时,显示窗口仍将以其可视长度显示通道 A 整个电压范围,不同之处在于,在窗口左边会出现一个垂直滚动条,可以用它上下移动通道 A 的数据曲线。如果将放大倍数置于大于 1 的“ $\times N$ ”挡,则显示窗口在其可视长度内只显示通道 A 整个电压范围的 $1/N$ 。显示窗口的左边还将出现一个垂直滚动条,移动它可滚动显示通道 A 整个电压范围。

此参数适用于除李莎育图之外的示波器的所有显示窗口。不过请注意,在显示波形相加或波形相减时,本参数代表“通道 A+通道 B”,或“通道 A-通道 B”。

5) 显示类型

示波器有 4 种显示类型。

&: 双踪波形显示(通道 A 和通道 B)。

+: 波形相加显示(通道 A+通道 B)。

-: 波形相减显示(通道 A-通道 B)。

|: 李莎育图显示(X 轴:通道 A;Y 轴:通道 B)。

可以选择上面任何一种类型来显示。

6) 通道 B 电压显示范围

可以指定通道 B 的电压显示范围,有以下几个选择:无、 $\pm 20\text{mV}$ 、 $\pm 50\text{mV}$ 、 $\pm 100\text{mV}$ 、 $\pm 200\text{mV}$ 、 $\pm 500\text{mV}$ 、 $\pm 1\text{V}$ 、 $\pm 2\text{V}$ 、 $\pm 5\text{V}$ 、 $\pm 10\text{V}$ 、 $\pm 20\text{V}$ 、 $\pm 50\text{V}$ 。当选择“无”时,示波器将不会显示通道 B 中的信号。如果采样通道设置为“A”(单通道),则不会用到本参数。

此参数适用于示波器的双踪波形显示和李莎育图,在其他显示类型下是不会用到并禁止选择的。

7) 通道 B 电压显示放大倍数

通道 B 电压显示放大倍数有 5 项选择:无、 $\times 1$ 、 $\times 2$ 、 $\times 5$ 、 $\times 10$ 。当选择“无”时,显示窗口将以其可视长度显示通道 B 整个电压范围。当选择“ $\times 1$ ”时,显示窗口仍将以其可视长度显示通道 B 整个电压范围,不同之处在于,在窗口右边会出现一个垂直滚动条,可以用它上下移动通道 B 的数据曲线。如果将放大倍数置于大于 1 的“ $\times N$ ”挡,则显示窗口在其可视长度内只显示通道 B 整个电压范围的 $1/N$ 。显示窗口的右边还将出现一个垂直滚动条,移动它可滚动显示通道 B 整个电压范围。

此参数适用于示波器的双踪波形显示,在其他显示类型下是不会用到并禁止选择的。

五、频谱分析仪的使用

1. 菜单

与示波器菜单基本相同。

2. 触发参数

同示波器相同。

3. 采样参数

同示波器相同。

4. 显示参数

1) 幅度谱显示参数

点击菜单“设置”→“类型”,出现如图 8-42 所示的对话框。

在显示类型对话框中选中“幅度谱”,将在频谱分析仪的界面下方出现如图 8-43 所示的幅度谱显示参数。

这些显示参数决定了如何对被采集到的数据进行幅度谱分析与显示。

(1) 频率范围。频率范围(F)有 10 项选择:100kHz、50kHz、20kHz、10kHz、5kHz、2kHz、1kHz、500Hz、200Hz、100Hz。该仪器能根据采样频率自动选择频率显示范围,以使其能包括从 0 到采样频率的 $1/2$ 的区间。若有必要,也可以手动改变此频率显示范围。

奈奎斯特采样原理是数字信号处理中的一个重要原理,它指出任何信号都可以用超过其最高频率 2 倍的频率采样后重现出来。也就是说,如果想测量 3000Hz 的信号,采样频率必须大于 6 000Hz,否则会出现频域的混叠现象,引起频谱失真。该仪器的所能支持的采样频率取决于声卡。

在幅度谱显示图中,可选择按线性或对数比例绘制此水平坐标轴。

(2) 频率显示放大倍数。频率显示放大倍数是水平坐标轴的放大倍数。它有 10 项选择: $\times 1$ 、 $\times 2$ 、 $\times 5$ 、 $\times 10$ 、 $\times 20$ 、 $\times 50$ 、 $\times 100$ 、 $\times 200$ 、 $\times 500$ 、 $\times 1\,000$ 。当选择“ $\times 1$ ”时,显示窗口将以其可视宽度显示整个频率范围。如果将频率显示放大倍数置于大于 1 的“ $\times N$ ”挡,则显示窗口在其可视宽度内只显示整个频率范围的 $1/N$ 。显示窗口的底部还将出现

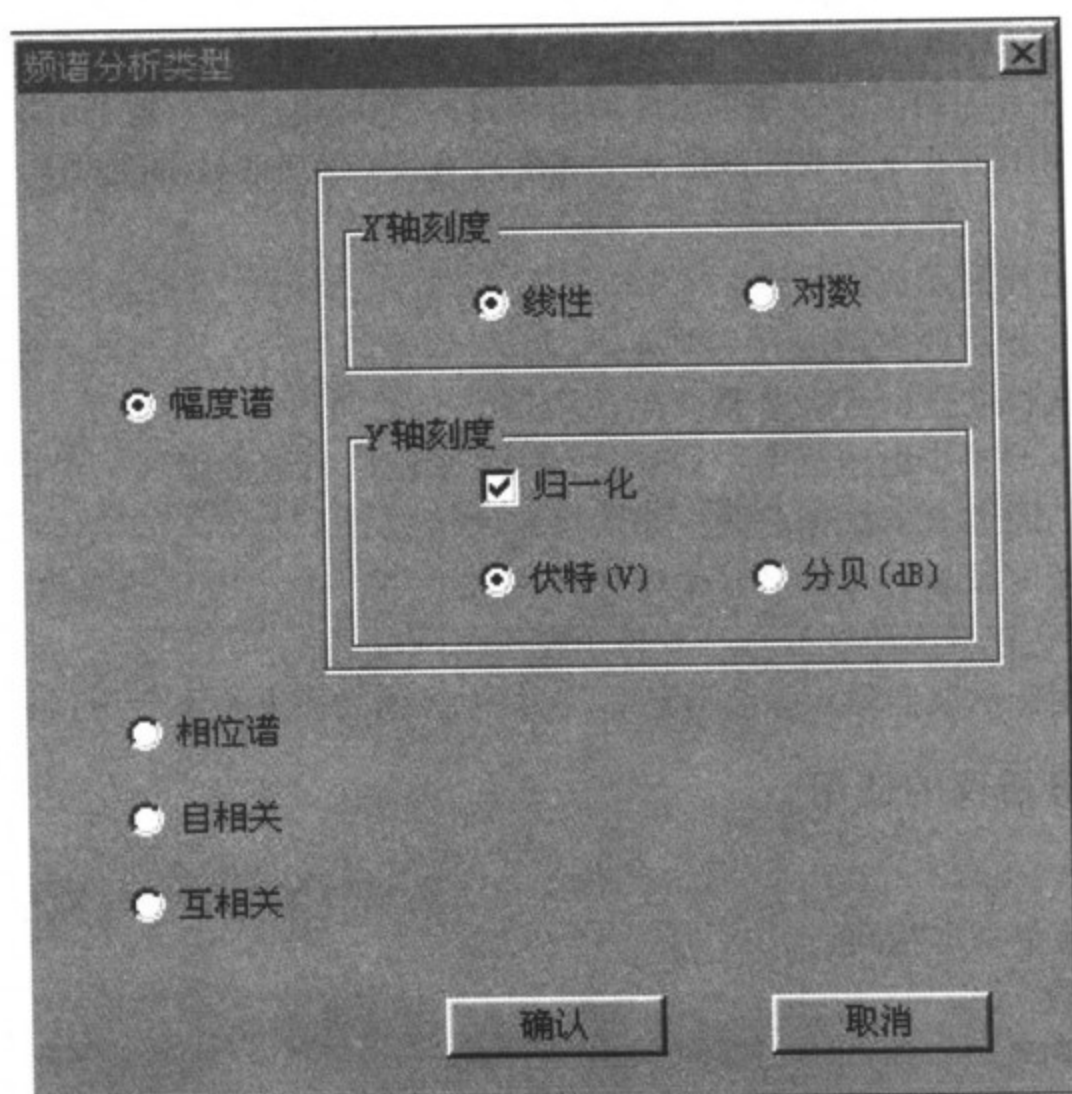


图 8-42 显示类型对话框

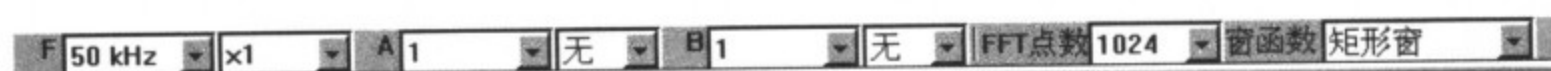


图 8-43 幅度谱显示参数

一个水平滚动条,移动它可滚动显示整个频率范围。

(3)通道 A 电压显示范围。在幅度谱显示中,对于垂直坐标轴,有两种显示模式。

①绝对显示模式(均方根(RMS)幅度)。垂直坐标轴按绝对值显示,所有的数据点按其绝对值绘制,如图 8-44 所示。当选择“无”时,频谱分析仪将不会显示通道 A 中的数据。

②相对显示模式。垂直坐标轴按相对值显示,所有的数据点按其相对于测量最大值的比例进行绘制。垂直坐标轴的范围为 0~1,其中 1 对应于测量中的最大值,如图 8-45 所示。当选择“无”时,频谱分析仪将不会显示通道 A 中的数据。

对于以上两种显示模式,可选择按线性或对数比例绘制此垂直坐标轴。

(4)通道 A 电压显示放大倍数。通道 A 电压显示放大倍数有 5 项选择:无、 $\times 1$ 、 $\times 2$ 、 $\times 5$ 、 $\times 10$ 。当选择“无”时,显示

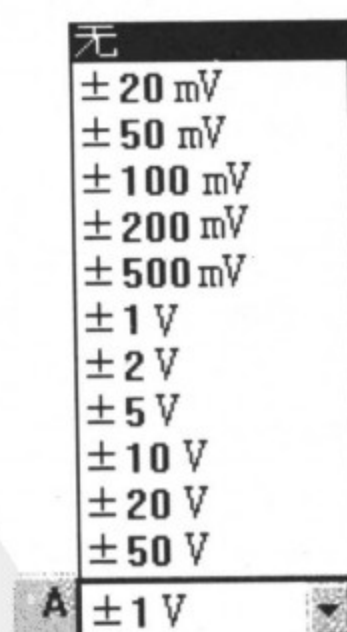


图 8-44 绝对显示模式

窗口将以其可视长度显示通道 A 整个电压范围。当选择“×1”时,显示窗口仍将以其可视长度显示通道 A 整个电压范围,不同之处在于,在窗口左边会出现一个垂直滚动条,可以用它上下移动通道 A 的数据曲线。如果将放大倍数置于大于 1 的“×N”挡,则显示窗口在其可视长度内只显示通道 A 整个电压范围的 1/N。显示窗口的左边还将出现一个垂直滚动条,移动它可滚动显示通道 A 整个电压范围。

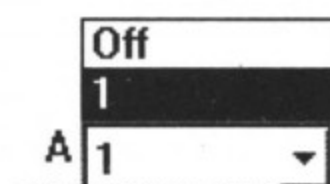


图 8-45 相对显示模式

(5)通道 B 电压显示范围。有绝对显示模式(均方根(RMS)幅度)和相对显示模式两种,与“通道 A 电压显示范围”相同。

对于以上两种显示模式,可选择按线性或对数比例绘制此垂直坐标轴。当采样单通道(A)时,此参数选择被禁止且未被使用。

(6)通道 B 电压显示放大倍数。与“通道 A 电压显示放大倍数”相同。

(7)FFT 点数。此参数适用于频谱分析仪的全部显示类型,有 9 项选择:128、256、512、1024、2048、4096、8192、16384、32768。所选择的 FFT 点数直接影响频谱分析中的频率分辨率。频域中的数据点数总是时域中 FFT 点数的 1/2。例如,1024 点的 FFT 将生成 512 点的频谱。

频率分辨率等于采样频率除以 FFT 点数。例如,对于 1024 点的 FFT 和 44100 Hz 的采样频率,频率分辨率为

$$44100/1024=43.07(\text{Hz})$$

FFT 点数越多,频率分辨率越高,但计算耗时越长。

如果 FFT 点数超过每帧数据的点数,则在 FFT 计算中,在测量数据的后面会自动补零以使其等于 FFT 点数。

如果 FFT 点数少于每帧数据的点数,则测量数据将被分段,每段数据长度等于 FFT 点数。若最后一段数据长度不等于 FFT 点数,则它将不参与 FFT 计算。FFT 的最终结果由全部数据段的结果平均而得。应当说明的是,这里用到的分段平均法适用于幅度谱、自相关函数和互相关函数的计算。而相位谱的计算仅使用了第一段数据。

(8)窗函数。使用窗函数有助于改善由于时域中采样长度有限(即矩型窗)而造成的在频域中的泄漏现象,可选择 5 种窗函数:矩型窗、三角窗、汉宁窗、哈明窗、布莱克曼窗。默认为矩型窗。应当说明的是,除矩型窗外,其他窗函数并不适用于相位谱、自相关函数和互相关函数的计算,因而在这些显示类型下是禁止选择的。

2)相位谱显示参数

在显示类型对话框中选中“相位谱”,将在频谱分析仪的界面下方出现如图 8-46 所示的相位谱显示参数。

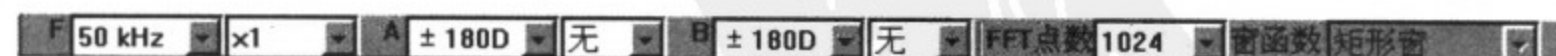


图 8-46 相位谱显示参数

(1)频率范围。此参数与幅度谱相同。

(2)频率显示放大倍数。此参数与幅度谱相同。

(3)通道 A 相位显示范围。有两项选择:无、±180D。当选择“无”时,频谱分析仪将

不会显示通道 A 中的数据。

(4)通道 A 相位显示放大倍数。此参数与幅度谱相同。

(5)通道 B 相位显示范围。有两项选择:无、 $\pm 180^\circ$ 。当选择“无”时,频谱分析仪将不会显示通道 B 中的数据。

(6)通道 B 相位显示放大倍数。此参数与幅度谱相同。

(7)FFT 点数。此参数与幅度谱相同。

(8)窗函数。没有用到,被禁止选择。

3)自相关函数显示参数

在显示类型对话框中选中“自相关”,将在频谱分析仪的界面下方出现如图 8-47 所示的自相关函数显示参数。

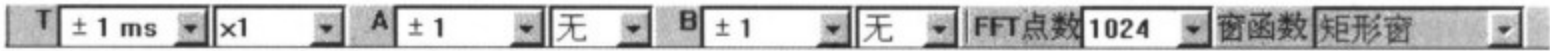


图 8-47 自相关函数显示参数

(1)时间延迟范围。有 $100\mu\text{s}\sim 500\text{s}$ 共 20 多个挡位。

(2)时间延迟显示放大倍数。此参数与幅度谱相同。

(3)通道 A 自相关函数显示范围。有两个选择:无、 ± 1 。当选择“无”时,频谱分析仪将不会显示通道 A 中的数据。

(4)通道 A 自相关函数显示放大倍数。此参数与幅度谱相同。

(5)通道 B 自相关函数显示范围。有两个选择:无、 ± 1 。当选择“无”时,频谱分析仪将不会显示通道 B 中的数据。

(6)通道 B 自相关函数显示放大倍数。此参数与幅度谱相同。

(7)FFT 点数。此参数与幅度谱相同。

(8)窗函数。没有用到,被禁止选择。

4)互相关函数显示参数

在显示类型对话框中选中“互自相关”,将在频谱分析仪的界面下方出现如图 8-48 所示的互相关函数显示参数。



图 8-48 互相关函数显示参数

(1)时间延迟范围。此参数与自相关函数显示相同。

(2)时间延迟显示放大倍数。此参数与自相关函数显示相同。

(3)通道 A&B 自相关函数显示范围。此参数与自相关函数显示相同或相似。

(4)通道 A&B 自相关函数显示放大倍数。此参数与自相关函数显示相同或相似。

(5)通道 B 自相关函数显示范围。没有用到,被禁止选择。

(6)通道 B 自相关函数显示放大倍数。没有用到,被禁止选择。

(7)FFT 点数。此参数与幅度谱相同。

(8)窗函数。没有用到,被禁止选择。

六、信号发生器的使用

信号发生器界面如图 8-49 所示。

1. 输出采样参数

采样能力完全取决于声卡。当按下信号发生器的“运行”键后,本仪器将尝试按指定的输出采样参数进行采样输出。如果所用的声卡不支持这些采样参数,则会弹出错误信息。

(1) 采样频率。可选择以下采样频率: 11025 Hz、22050 Hz、44100 Hz、48000 Hz、96000 Hz、192000 Hz。

(2) 采样通道。有两个选项。

A: 只采样通道 A。对于立体声声卡,将在两通道中输出同样的信号。

A&B: 同时采样通道 A 和通道 B。因此将在两通道中输出不同的信号。

(3) 采样位数。有两个选项: 8 位和 16 位。

2. 输出信号参数

每输出通道都有自己独立的输出信号参数。

(1) 输出信号波形。有无、正弦波、方波、三角波、锯齿波、白噪声、粉红噪声、多声合成和自定义波形等几种。当选择“无”时,该通道将无信号输出,即输出为零。因而,无需指定输出频率和输出振幅。当选择“白噪声”时,将

输出白噪声信号。白噪声信号在指定的频率范围内,每赫兹具有相同的能量。对于白噪声信号无需指定输出频率。当选择“粉红噪声”时,将输出粉红噪声信号。粉红噪声信号在指定的频率范围内,每倍频程具有相同的能量。对于粉红噪声信号无需指定输出频率。

(2) 输出频率。有以下选项: 90000 Hz、50000 Hz、20000 Hz、10000 Hz、5000 Hz、2000 Hz、1000 Hz、500 Hz、200 Hz、100 Hz、50 Hz。

如果需要的输出频率不在以上选项中,则可以直接键入,也可以使用最左边的滚动条(用于通道 A)或者最右边的滚动条(用于通道 B)来调节输出频率。

本软件将不允许选择或键入大于输出采样频率的 1/2 或小于 1Hz 的数值。

输出频率选项不适用于“无”、“白噪声”、“粉红噪声”和“多音合成”波形选项,也不适用于“扫频”选项。

(3) 输出振幅。有以下选择: 1000 mV、500 mV、200 mV、100 mV、50 mV。

(4) 输出相位差。当两通道的输出信号频率相同时,可以指定它们之间的输出相位差。此选项只适用于在非扫频模式下的“正弦波”、“方波”、“三角波”、“锯齿波”和“自定义波形”。如果两通道的波形不同,那么相位差是以各波形的初始相位为基准来计算的。

3. 扫频参数

该仪器可以按线性或者对数扫频的方式在指定的时间及频率范围内产生所指定的波形。

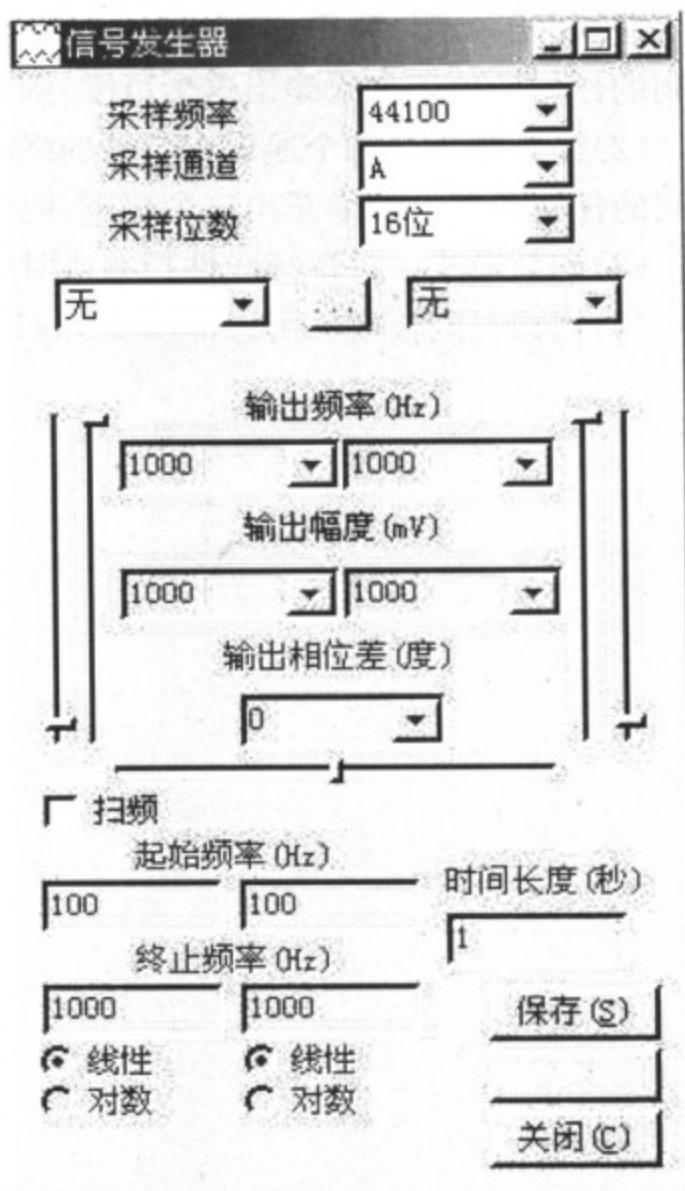


图 8-49 信号发生器界面

(1)起始频率。每个通道有自己的起始频率。可以输入从 1Hz 到输出采样频率 1/2 之间的任何数值。如果超出这个范围,则会弹出错误信息。

(2)终止频率。每个通道有自己的终止频率。可以输入从 1Hz 到输出采样频率 1/2 之间的任何数值。如果超出这个范围,则会弹出错误信息。

(3)扫频模式。可选择线性扫频或对数扫频两种模式。

(4)扫频时间长度。可选择从 1s~2147483647s 的任何数值为扫频时间长度。



附录 常用电子测量仪器简介

一、电流电压表

1. 自动电压表 DM2181

自动电压表 DM2181 外形如图 1 所示。

DM2181 是一台全自动通用交流有效值电压表,可广泛应用于工厂、大专院校、科研单位。其测量频率范围:20Hz~500kHz,电压范围:300 μ V~300V,dB 刻度范围:−70dB~+50dB。

1) 主要特点

采用程控电路,从 1mV~300V 分 12 挡,自动换挡,测量全自动化。

有输入保护电路,安全可靠。

有交流输出电压,可作监视输入信号,也可作放大器用。

2) 主要技术参数

电压测量范围:300 μ V~300V,分为 1mV、3mV、10mV、30mV、100mV、300mV、1V、3V、10V、30V、100V、300V 共 12 挡。

dB 刻度范围:−70dB~+50dB。

电压测量误差: $\leq 2\%$ (满刻度,1kHz 处)。

频率范围:100Hz~200kHz, $\pm 5\%$;20Hz~500kHz, $\pm 10\%$ 。

交流输出电压:1V(均方根值) $\pm 5\%$ 。

交流输出阻抗:600 Ω 。

电源:AC 220V $\pm 10\%$,50Hz ± 2 Hz。

2. 双针交流毫伏表 GVT-427B

双针交流毫伏表 GVT-427B 外形如图 2 所示。

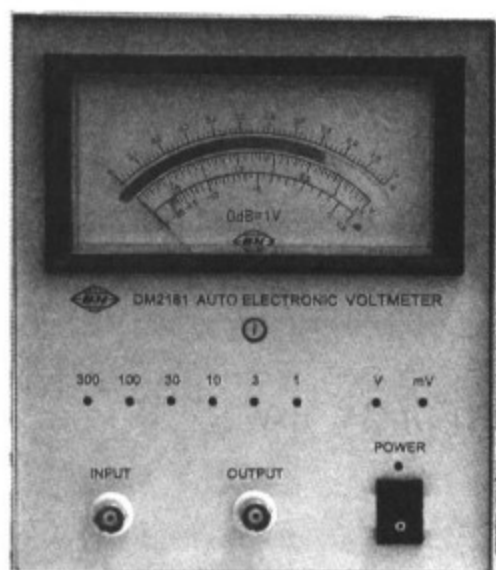


图 1 自动电压表 DM2181 外形



图 2 双针交流毫伏表 GVT-427B 外形

满刻度感度: $300\mu\text{V}$ 。

频率量测范围: $10\text{Hz}\sim 1\text{MHz}$ 。

量测挡位: $-70\text{dB}\sim +40\text{dB}$, 共 12 挡。

输入电压范围: $300\mu\text{V}\sim 100\text{V}$ 满刻度, 共 12 挡。

分贝范围: $-70\text{dB}\sim +40\text{dB}$, 共 12 挡。

准确度: $\pm 3\%$ 满刻度。

频率响应: $(20\text{Hz}\sim 100\text{kHz}) + 3\%$, $(10\text{Hz}\sim 1\text{MHz}) + 10\%$ 。

阻抗: $1\text{M}\Omega$, 约 40pF 。

失真: 小于 2% 。

使用电源: 交流 $115\text{V}/230\text{V}\pm 10\%$, $50/60\text{Hz}$ 。

3. 高频电子管毫伏表 GB-10

高频电子管毫伏表 GB-10 外形如图 3 所示。

GB-10 型高频电子管毫伏表是高可靠性的宽带交流电压表, 可广泛用于制造厂、实验室及修理部门作测量正弦波电压的有效值之用。仪器并由分贝标尺, 可用来作电平指示。仪器可用来对无线电收讯机、放大器、振荡器和其他设备的电路进行测量, 或兼作前置 mV 放大器。

主要技术指标如下。

测量电压范围: $1\text{mV}\sim 300\text{V}$, 10 个量程为 $0\text{mV}\sim 0/30/100/300\text{mV}$, $0\text{V}\sim 1/3/10/30/100/300\text{V}$ 。

测量电平范围: $-50\text{dB}\sim +52\text{dB}$, $-12\text{dB}\sim +2\text{dB}$ 。扩展量程各挡加上 $-40/-30/-20/-10/-0\text{dB}$, $+10/+20/+30/+40/+50\text{dB}$ 。

仪器分贝刻度是以 1mW 功率消耗于 600Ω 的纯电阻为 0dB 进行计算的。

测量电压频率范围: $20\text{Hz}\sim 2\text{MHz}$ 。

测量的固有误差: 在环境温度 $+20^\circ\text{C}\pm 5^\circ\text{C}$, 信号频率 50Hz 时, 不超过各量程满度值的 $\pm 2.5\%$ 。

频率响应误差: 在环境温度 $+20^\circ\text{C}\pm 5^\circ\text{C}$, 以 1kHz 为基准时的不均匀性: $20\text{Hz}\sim 45\text{Hz}\leq \pm 2.5\%$; $>45\text{Hz}\sim 50\text{kHz}\leq \pm 1.5\%$; $>50\text{Hz}\sim 200\text{kHz}\leq \pm 3\%$; $>200\text{kHz}\sim 2\text{MHz}\leq \pm 7\%$ 。

仪器的输出阻抗: 在 1kHz , 输入电阻不低于 $1\text{M}\Omega$, 输入电容不大于 40pF 。

放大器输出: 在任何量程上, 表头满度偏转时输出约 240mV , 输出阻抗 $<200\Omega$ 。

供电电源电压变化 $\pm 10\%$ 。仪器示值不超过 $\pm 2\%$ 。

温度附加误差: 以 50Hz 信号输入时, 在 $-10^\circ\text{C}\sim 15^\circ\text{C}$ 和 $+25^\circ\text{C}\sim +40^\circ\text{C}$ 的范围内, 每变动 1°C 所致附加误差不大于各量程满度值的 $\pm 0.25\%$ 。

工作误差: $\pm 10\%$ 。

电源电压: $220\text{V}\pm 10\%$, 180V 以上也能工作, 消耗功率 $\leq 40\text{W}$ 。

4. 晶体管毫伏表 DA-16

晶体管毫伏表 DA-16 外形如图 4 所示。



图3 高频电子管毫伏表 GB-10 外形

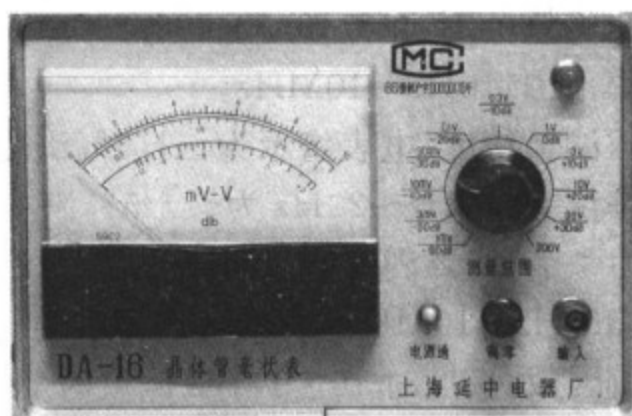


图4 晶体管毫伏表 DA-16 外形

DA-16 型晶体管毫伏表是一种典型的放大—检波式电子电压表,采用磁电式电流表作为指示器。能测量交流信号的电压值。其基本原理是,先将被测交流信号放大,再进行检波,最后通过直流表头指示读数。

1)性能指标

测量电压范围; $100\mu\text{V}\sim 300\text{V}$ 。

测量电平范围: $-72\text{dB}\sim +30\text{dB}(600\Omega)$ 。

被测电压频率范围: $20\text{Hz}\sim 1\text{MHz}$ 。

2)使用注意事项

(1)接通电源后,应先进行调零,然后再进行测量。调零方法是,将“测量选择”开关置于左边(或右边),输入 A(或 B)短路,转动调零旋钮,使表头指针指在零位。

(2)测量前,应将“测量范围”置于适当挡,以免因电压超过量程过多而损坏仪器。若测量未知大小的电压,则应先将“测量范围”置于大量程挡,测量时根据表头指示逐步减小量程。

(3)当“测量范围”置于小量程挡时,不要使输入测试线开路,以免因感应电压过大而损坏电表。

(4)该表读数为正弦波有效值,只有测量正弦波时才是准确的。

(5)测量 36V 以上电压时,应注意机壳可能带电。

(6)测量市电时,相线接输入端,中线接地,不应反接。

5. 有效值电压表 DA-24

有效值电压表 DA-24 如图 5 所示。

有效值电压表是一种采用热电偶转换的交流电压测量仪器,它能测量各种波形电压的有效值,电压测量范围为 $100\text{mV}\sim 300\text{V}$,频率范围从 $10\text{Hz}\sim 10\text{MHz}$,满量程上可测峰值因数为 10 : 1 的非正弦波电压。它可作为交、直流转换器使用,外接直流数字万用表读数,可以提高测量精度。



图5 有效值电压表 DA-24 外形

本仪器精度高、稳定性好,不需要调整零点,使用方便。适于科研、计量、实验室、工厂等部门的使用。

主要技术指标如下。

电压测量范围:1/3/10/30/100/300mV,1/3/10/30/100/300V 共 12 挡。

频率范围:10Hz~10MHz。

电压测量精度:电表指示为 $\pm 1.5\%$ 满度值;直流输出为 $\pm 1\%$ 满度值。

频率误差:10Hz~20Hz 为 $<\pm 5\%$ 满度值;20Hz~50Hz 为 $<\pm 3\%$ 满度值;50Hz~1MHz 为 $<\pm 1.5\%$ 满度值;1MHz~2MHz 为 $<\pm 2\%$ 满度值;2MHz~3MHz 为 $<\pm 3\%$ 满度值;3MHz~10MHz 为 $<\pm 5\%$ 满度值。

峰值因数:满度时 10:1,1/2 满度时 20:1。

电源:110/220V $\pm 10\%$,50Hz ± 2 Hz, <15 VA。

二、示波器

1. 模拟示波器 SR-071B

SR-071B 模拟示波器外形如图 6 所示。

SR-071B 型二踪便携式示波器是现代通信、模拟装置以及现代医学、电生理等学科研究工作与工厂生产线等理想的电子测量仪器。

体积:16cm \times 27cm \times 40cm。

质量:10kg。

厂家:江苏扬中。

其主要技术指标介绍如下。

带宽:DC~7MHz。

偏转因数:5mV/div~10V/div。

工作方式:CH1、CH2、交替、断续、叠加、X-Y。

扫描时间因数:1s/div~0.5 μ s/div,可扩展 $\times 5$ 。

扫描方式:自动、触发。

触发同步:CH1、CH2、外、TV。

2. 模拟示波器 J2495

J2495 是一种适合学生实验的模拟示波器,其外形如图 7 所示。

体积:13.5cm \times 20.5cm \times 30cm。

质量:4kg。

厂家:杭州九二无线电厂。

其主要技术指标如下。

(1)垂直系统。

频率响应:直流 DC1.5MHz 小于等于 3dB,交流 5Hz~1.5MHz 小于等于 3dB。

灵敏度:50mV(峰峰值)/格。

输入阻抗:1M Ω /40pF。

衰减倍率:1、10、100、1000 4 挡。

输入耐压:400V(DC+AC(峰峰值))

(2)扫描系统。

扫描频率:10Hz~100KHz,分 4 挡:10Hz~100Hz,100Hz~1kHz,1kHz~10kHz,



图 6 SR-071B 模拟示波器外形

10kHz~100kHz。

同步:内正同步,内负同步。

(3)水平系统。

频率响应:10Hz~500kHz 小于等于 3dB。

灵敏度:小于等于 100mV(峰峰值)/格

输入阻容:1MΩ/60pF。

3. 慢扫描示波器 XJ4630

慢扫描示波器 XJ4630 外形如图 8 所示。

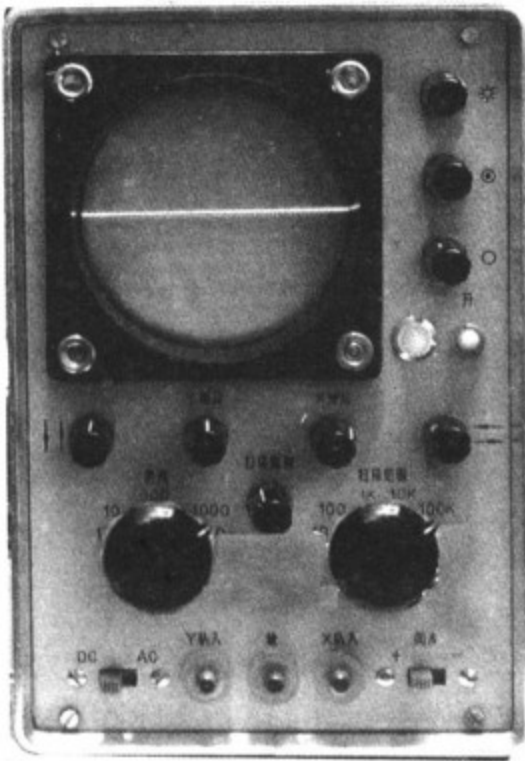


图 7 模拟示波器 J2495 外形

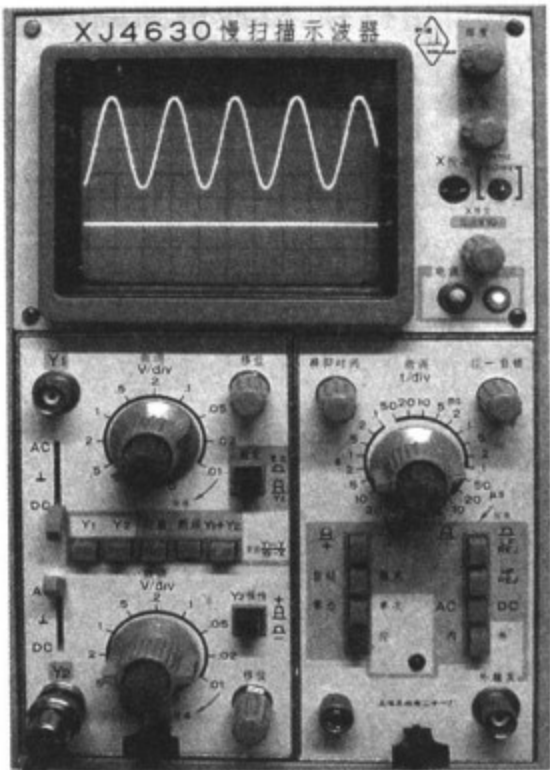


图 8 慢扫描示波器 XJ4630 外形

XJ4630 型是一种全晶体管化便携式二踪 1MHz 慢扫描示波器,具有内刻度长余辉矩形屏幕显示和慢扫描功能,扩展后,最高灵敏度为 2mV/div,频带宽度为 0MHz~1MHz,最慢扫描时间达 20s/div,加扫描微调比能观察 500s 的全程扫描信号。其电路主要由 Y 轴两个高增益直流放大器、电子开关、触发整形器、时基电路、X 轴放大器、校准信号、低压电源、高频高压显示电路等单元组成仪器采用积木化台式结构,体积小、质量轻、便于携带。整机分成 Y 轴插件、X 轴插件、主机等 3 个单元,各个单元的印制板之间通过插头座相互转接,基本上印制连线板连接,使整机布局紧凑严密,加强了工艺性,提高了仪器的可靠性,而且便于调试维修。

该仪器对被测信号能定量观察,尤其可供科研院校对一低频缓变化的电参量的测量和观察,特别适用于机床自动化程控的调试,维修和监视。本仪器还可工作于“单次”状态,便于观察拍摄非重复的波形,亦可作 X、Y 记录仪使用。

该仪器属 SJ2075 中 II 组环境仪器,其安全要求属 SJ2257 中工类安全,能在 0°~40° 范围内考核性能,也能在 -10°~50° 范围内维持进行,并能承受 1500V 耐压的检验。

4. 模拟示波器 SR12

模拟示波器 SR12 外形如图 9 所示。

SR12 型是一种晶体管化高灵敏度 1MHz 二线示波器。机内除了示波管外,全部采用晶体管。全机电路共分:Y 轴放大器、触发整形器、扫描发生器、X 轴放大器、校准信号、显示部分、高频高压、低压电源等 8 个单元。各单元电路均装于印刷板上,并且分别用插座与整机连接,在生产和维修时可以方便地装。走机的结构采用了积木化形式,其 Y 轴放大器、触发、扫描等单元装在一个插件内。低压电源装成一个独立的整件,可以自由拆卸,以便单独调试与校验。

该仪器 Y 轴具有高增益的直流放大器,最高灵敏度为 $100\mu\text{V}/\text{div}$,用以测量和显示一般示波器不能观察到的各种微弱的电信号。机内不但 Y 轴放大器分上线和下线独立二路,而且示波管亦为双枪结构,故在比较二路信号时,比采用电子开关转换的二踪示波器具有更多的优点。此外,该仪器还具备超低频的线性慢扫描(最慢扫速为 $5\text{s}/\text{div}$),对观察慢信号会带来很多方便,扫描还可工作于“单次”状态下,即扫描一次就自动闭锁,便于拍摄非重复的波形。

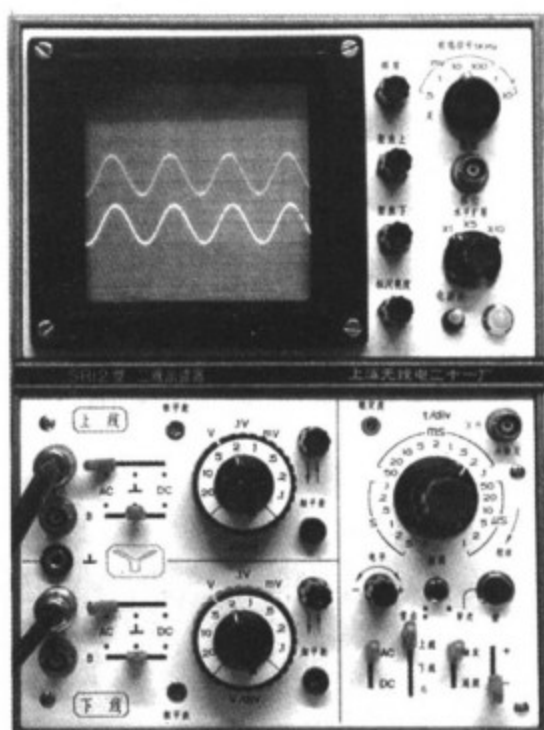


图 9 模拟示波器 SR12 外形

5. 模拟示波器 SR62

模拟示波器 SR62 外形如图 10 所示。

SR62 型二踪示波器是小型轻便、卧式结构、矩形屏幕的双踪 15MHz 示波器。适于观察和测量单一信号和两个有时间关系的信号进行分析对比,可以测量电压幅度 $2\text{mV}\sim$ 数百 V,时间宽度几十纳秒乃至数秒量级的脉冲和其他周期性信号,并可对电视的行频,帧频及其同步脉冲进行观测。

电路结构主要由高增益垂直放大器、电子开关、触发脉冲形成,扫描发生器、水平放大器、高低压电源及显示系统等构成。仪器体积小、质量轻、耗电量小、携带方便,可广泛用于科研、教学、国防、通信以及工业生产和仪器维修之用。

外型尺寸: $300(\text{宽})\text{mm}\times 122(\text{高})\text{mm}\times 360(\text{深})\text{mm}$ 。

仪器质量:约 6kg。

消耗功率:18VA 左右。

适应电源: $-220\text{V}\pm 10\%$ $50\text{Hz}\pm 4\%$ 。

预热 15min 仪器正常工作,连续工作 8h。

其主要工作特性如下。

(1)垂直放大器。

频率响应:DC 0MHz \sim 15MHz 等于 -3dB ; AC 5Hz \sim 15MHz 等于 -3dB 。

偏转因数: $2\text{mV}/\text{格}$ 。

衰减器:从 $2\text{mV}/\text{格}\sim 5\text{V}/\text{格}$ 共 11 挡,按 1、2、5 进位,衰减误差 $\pm 5\%$,备有 1:10 衰减探极。

最大容许输入电压: $\pm 400\text{V}$ (峰峰值)。

输入阻抗:电阻 $1\text{M}\Omega$,电容小于等于 35pF 。

工作方式:有通道 A、通道 B、交替、断续,由琴键开关控制。

(2)水平放大器。

频率响应:0kHz~500kHz 等于-3dB。

偏转因数:小于 5V/格,扩展×5 小于 1V/格。

最大容许输入电压:±400V(峰峰值)。

输入阻抗:电阻 1MΩ,电容小于等于 30pF。

(3)时基。

扫描速度:0.2s/格~0.5μs/格,共 18 挡,按 1、2、5 进位,扫描微调范围大于等于 2.5 倍。

扫描误差:±5%,扩展×5,误差±7%。

(4)触发源。有内、外和电源。

(5)校正信号。输出幅度 1V(峰峰值),误差小于等于±2%,重复频率约为 1kHz 的方波信号。

(6)Z 轴外调辉。调制幅度大于等于 4V(峰峰值),频率范围 10Hz~1MHz。

6. 模拟示波器 SR8

模拟示波器 SR8 外形如图 11 所示。



图 10 模拟示波器 SR62 外形

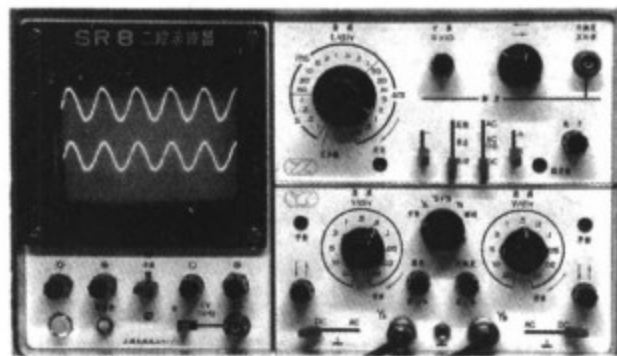


图 11 模拟示波器外形

SR8 型二踪示波器是全半导体管化的小型示波器,它的频带宽度为 DC15MHz,其电路结构主要由:双通道 Y 轴放大器、时基触发器、时基发生器、X 轴放大器、电子开关、延迟线、校准信号、显示部分和高低压电源供给等单元所组成。该仪器为普遍适用的宽频带脉冲示波器,因此,可供通信、广播、雷达以及物理、机械、建筑等工业作定性、定量测量使用。

7. 模拟示波器 XJ4245

模拟示波器 XJ4245 外形如图 12 所示。

XJ4245 型示波器除具有 10MHz 二踪通用示波器各项功能外,还具有 Y1、Y2 通道波形同时在 CRT 屏幕左、右显示的特殊的功能,并能同时叠加显示李沙育图形和相位波形,因此成为专业音响设备研制、调试和维修必备测试器。该仪器最高灵敏度可达 2mV/div,具有 TV 同步及电源同步功能,从而进一步扩展了应用范围。

1)重直系统

频带宽度:DC~10MHz。

上升时间:≤35ns。

偏转系数:10mV/div~5V/div,分 9 挡。

扫描误差:扩展×5。

2) 工作方式

Y1、Y2、交替、断续、二踪、单踪、Y-X(有 0° 相位显示)/常态、X 交替/常态(Y1、Y2 通道波形可分列左右显示,并同时叠加 Y-X 显示及 0° 相位显示)。

3) 水平系统

偏转系数: $0.2\mu\text{s}/\text{div} \sim 100\text{ms}/\text{div}$, 9 挡。

扫描误差: 扩展: $\times 5$ 。

4) 一般性能

使用电源: AC 220V/50Hz。

外形尺寸: $300\text{mm} \times 166\text{mm} \times 400\text{mm}$ 。

质量: 8.5kg。

8. 模拟示波器 TD4652

模拟示波器 TD4652 外形如图 13 所示。

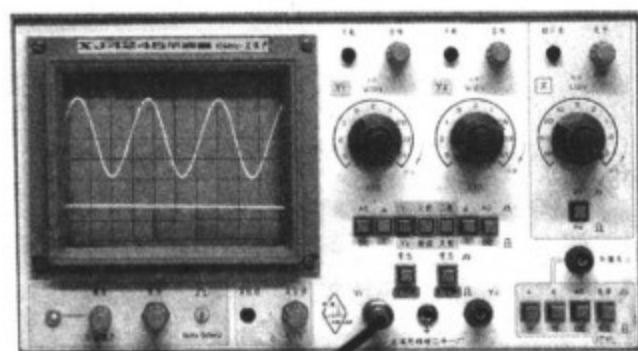


图 12 模拟示波器 JX4245

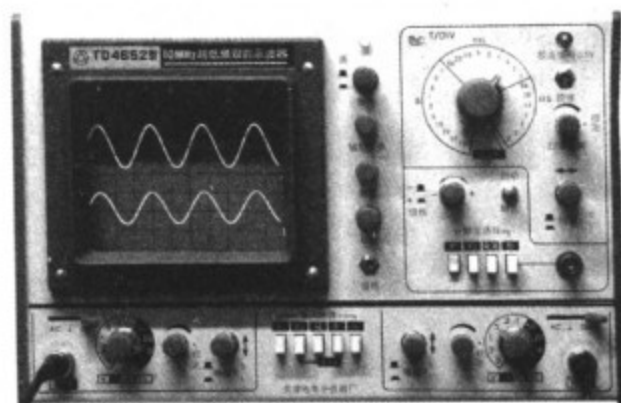


图 13 模拟示波器 TD4652 外形

TD4652 型 10MHz 超低频双踪示波器,是在实验室条件下,观察和测量 $0.0004\text{Hz} \sim 10\text{MHz}$ 信号的波形、周期、相位和幅度的一种宽频带示波器。它的最高扫描速度可达 $50\text{ns}/\text{div}$,最慢扫描全程可大于 2500s,所以,它可广泛的适用于医学病理研究、生物医学工程、机械振动、地质物探、地震科学、广播通信,交通运输,国防科研、大专院校等领域。它的特点是,既可以作为通用示波器使用,又是目前自内外扫描时间最长的超低频示波器。该机具有多种显示功能,单踪、双踪、加、减及 X-Y 显示。

使用之前应先检查交流 220V 的供电不得超过 $\pm 10\%$ 。拉出亮度电位器,电源即接通,指示灯亮,此时,显示方式琴键应放在 Y1 或 Y2 或双,扫描方式放在“自动”,扫描波段开关放在合适挡,旋转垂直水平位移电位器,在屏幕上应出现扫描线了。

当观测信号时,将信号输入到 Y1 或 Y2。适当选择偏转因数和时基挡级、触发源及触发电平,即能得到稳定的图像显示。当触发源琴键置于“外”的位置,外同步信号必须拿到外触发输入端。当观察市电信号时,触发源应置于电源位置。

增益微调旋至最右端,时基微调旋至最右端,帽转因数和时基因数才与刻度数值相符,才能精确的测量幅度和时间。

拉出垂直通道的位移电位器,此时垂直增益扩展 5 倍,即基准偏转因数为 $1\text{mV}/\text{div}$ 。拉出水平位移电位器,水平增益扩展 10 倍。

两个信号相加或相减时,由显于方式键的“+、-”控制。当用 X-Y 显示时,显示方式琴键置于 Y2(X-Y)位置上,时基波段开关置于最右端,此时 Y1 即为 X 输入,从这

两端输入即可观察李沙育图形,或其他 X-Y 显示,外消隐脉冲从仪器后面板的插座引入。

在测量电压时,直接输入最大输入电压不得超过 200V(DC+峰值)加探极输入时,最大输入电压不得 400V(峰峰值)。仪器在工作过程中,不得将扫描线长期移至屏幕以外。加 10:1 衰减器后,将增益微调旋钮旋至最左端,此时 Y 轴可测最大电压值为 1000V(峰峰值)。若测 220V 可将示波器接地线断开,并注意安全。

9. 模拟 ST16 示波器

模拟 ST16 示波器外形如图 14 所示。

ST16 型示波器为一通用的小型示波器;它具有 0MHz~5MHz 的频带宽度和 2mV/div 的垂直输入灵敏度,扫描时基系统采用触发扫描,最快扫速达 100ns/div。ST16 型示波器具有体积小、质量轻、耗电省、造型新颖、操作携带方便等特点。仪器内附 100mV 校准信号装置,可供垂直灵敏度和水平时基扫速校准之用,对被测信号能满足定性定量要求。因此,ST16 型示波器非但能适用于一般脉冲参量的测量,特别对电视机、音频放大器、收音机等电子设备的维修调试十分方便,可供生产线使用。此外,亦可作为程序控制机床等机械设备的监视器。

10. 模拟示波器 DL4210

模拟示波器 DL4210 外形如图 15 所示。

该示波器是晶体管和集成电路混合电路,除了具有一般通用示波器功能外还具有立体声测量的特殊功能。其特点如下。

(1)频带宽度。双踪均为 DC5MHz。

(2)灵敏度。10mV/cm($\times 10$ 扩展最高灵敏度 1mV/div)。

(3)完成双踪或立体声测量显示的同时,可以用李沙育图形的形式显示出两个通道的相位差和示波器通道对被测信号产生的相位误差共 4 个图形。

(4)采用了两个独立的触发同步电路,两个通道的信号是由各自的触发同步信号和触发电平控制,使之稳定同步。因此,当一个通道的信号幅度、频率和相位等发生变化时,也不会影响另一个通道的稳定同步。

(5)采用便携的结构,造型美观、质量轻、功耗小。

本仪器广泛应用在立体声放声装置的生产线及一般电器设备的测量。

11. 模拟示波器菊水 COS5020

模拟示波器 COS5020 外形如图 16 所示。

该仪器为双通道示波器,带宽为 20MHz,最小垂直偏转因数为 1mV/cm,扫描时间因数为 20ns/cm。示波器采用 8cm \times 10cm 矩形内刻度示波管 HH4311。示波器结构坚固,易于操作,具有很高的可靠性。它具有的许多便利特性及特殊功能,使得它在各种科研及电子设备的研制和开发中成为理想的仪器。同时,该示波器也能有效地用于生产线以及维修和服务等方面。

本仪器具有以下特点。

(1)体积小、质量轻、坚固耐用。

(2)容易操作。该示波器采用了力矩小的杠杆开关和按键开关,安排合理,操作方便。

(3)稳定度高。该示器采用了一种新开发的温度补偿电路,因此大幅度降低了由温度

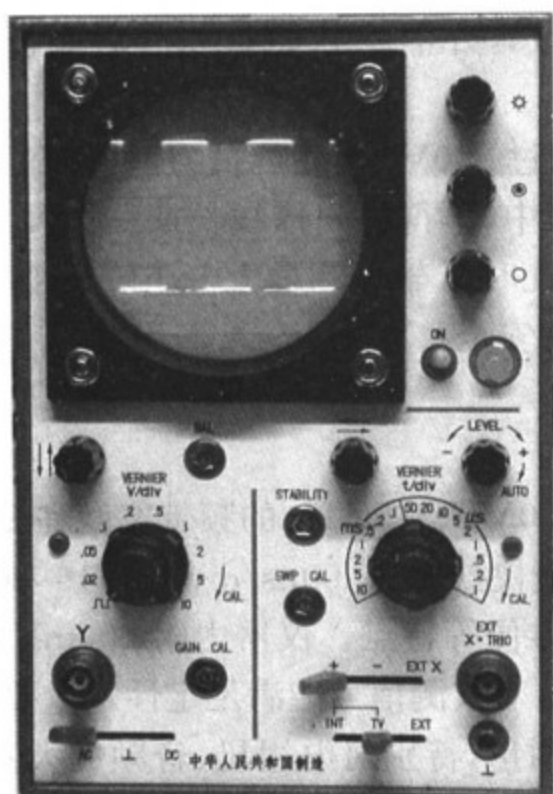


图 14 模拟示波器 ST16 外形

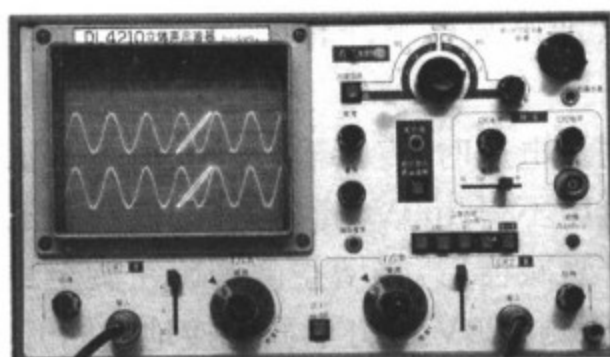


图 15 模拟示波器 DL4210 外形

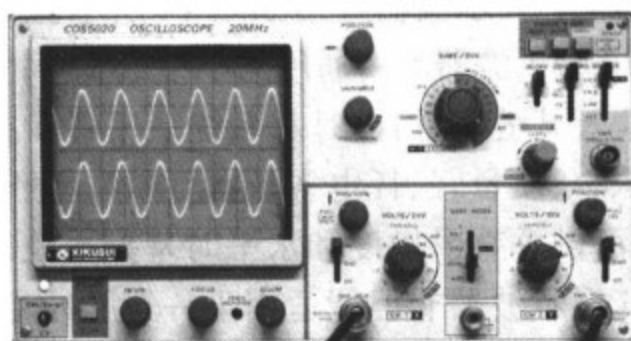


图 16 模拟示波器 COS5020 外形

变化所引起的基线漂移及直流平衡失调。

(4)无需触发调整的触发电平锁定功能。该示波器装有一种新的触发电平锁定电路,这种电路省略了复杂的触发调整过程,无论是在显示规则信号、视频信号或是占空比大的信号,均能自动同步。

(5)TV 同步触发。该示波器具有同步分离电路,在触发 TV 场及行信号时,能够跟随“t/cm”开关自动转换。

(6)线性聚焦。一旦聚焦到最佳状态,能自动维持聚焦状态,而与辉度变化无关。

12. 模拟示波器岩崎 SS-5702

模拟示波器岩崎 SS-5702 外形如图 17 所示。

SS-5702 是一种小巧轻便的示波器,覆盖频率范围宽度为 DC~20MHz。SS-5702 是为双踪测量而设计的。

垂直偏转因数以 1-2-5 顺序从 5mV/格~10V/格。

触发系统具有内触发、外触发以及用于全电视信号的 TV 触发功能。

水平偏转系统具有以 1-2-5 为顺序从 0.5ms/格~0.2s/格的扫描速度,5 倍扫描扩展功能(最高扫描速度为 0.1ms/格)和用于观察李沙育图形的外水平/X-Y 显示功能。

示波管有效面积为 8 格(垂直)乘 10 格(水平);借助 2kV 的稳定的加速电压可进行高辉度定量测量。

内部电路为全固态结构,可确保稳定性与可靠性。

13. 模拟示波器 BS4321

模拟示波器 BS4321 外形如图 18 所示。

BS4321 型示波器是一种高灵敏度、大屏幕、内刻度、有较高精度及较宽频带的双踪示波器。它不仅具有一般通用示波器的功能,还具有 X-Y 高灵敏度显示功能,备有电视行场同步功能,因此为观察电视信号提供方便,广泛应用于科研、教学、国防、工厂及各种维

修部门。

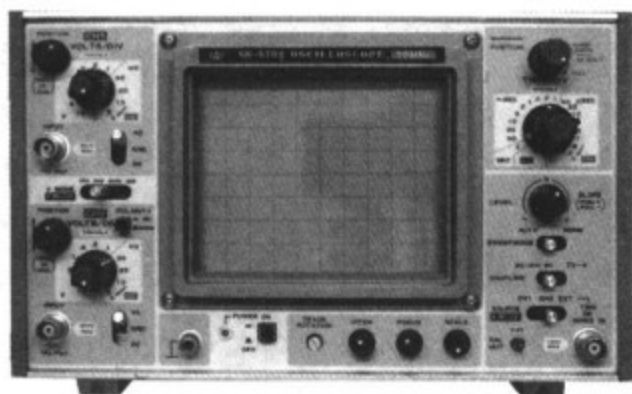


图 17 模拟示波器岩崎 SS-5702 外形

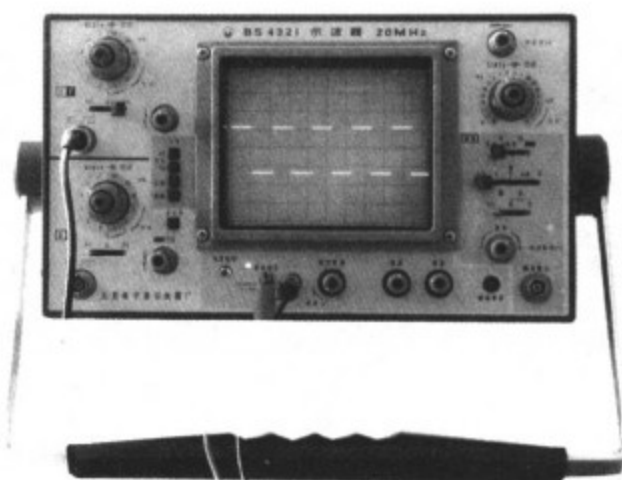


图 18 模拟示波器 BS4321 外形

该仪器是全晶体管化及部分集成化的便携示波器。机箱及面板采用塑料喷涂及大面积胶印,使得结构新颖、造形美观、体积小、耗电少。内部大量采用印制走线新工艺,连线少、可靠性高,各开关控制轻巧自如,使用方便。

14. 模拟示波器岩崎 SS5705

模拟示波器岩崎 SS5705 外形如图 19 所示。

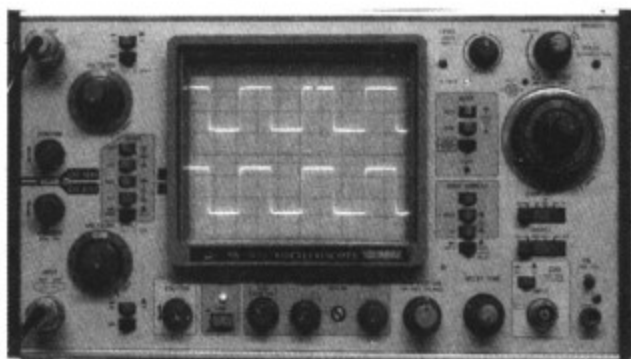


图 19 模拟示波器岩崎 SS5705 外形

岩崎 SS5705 是 40MHz 示波器,其精度和性能可与高档机相比拟,因而可用于各种测量场合,如生产线、维修、研究和新产品开发等。示波管加速电压高达 12kV,亮度高。使用交替扫描的功能可获得示踪显示。

15. 模拟示波器健伍 CS-5130

模拟示波器健伍 CS-5130 外形如图 20 所示。

健伍 CS-5130 为 40MHz 2 通道 4 踪双扫描示波器,具有以下特点。

(1)在示波管上显示 Y 轴输入幅度读数, A、B 扫描时间读数,延迟时间读数,光标 $\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta T, 1/\Delta T$ 读出。

(2)150mm 示波管带有内标度及照明刻度。

(3)具有 TV-H-V 触发功能。

(4)具有 1mV/div 高灵敏度输入。扫描时间可至 $0.02\mu\text{s}/\text{div}$ 。

16. 模拟示波器菊水 COS5041

模拟示波器菊水 COS5041 外形如图 21 所示。

该仪器是一种双通道示波器,带宽为 40MHz,最小垂直偏转因数为 1mV/cm,扫描时间因数为 20ns/cm。示波器采用 8cm×10cm 矩形内刻度示波管。HH4331 尚具有 B 扫

描扩展功能。

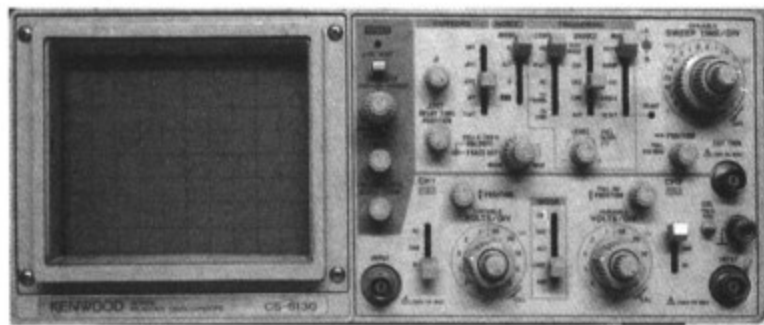


图 20 模拟示波器健伍 CS-5130 外形

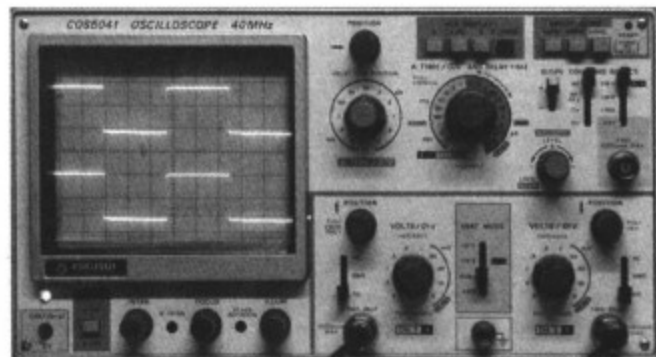


图 21 模拟示波器菊水 COS5041 外形

示波器结构坚固,易于操作,具有很高的可靠性。它具有的许多便利特性及特殊功能,使得它在各种科研及电子设备的研制和开发中成为理想的仪器。同时,该示波器也能有效地用于生产线以及维修和服务等方面。

本仪器具有以下特点。

- (1)体积小、质量轻、坚固耐用。
- (2)容易操作。该示波器采用了力矩小的杠杆开关和按键开关,安排合理,操作方便。
- (3)稳定度高。该示波器采用了一种新开发的温度补偿电路,因此大幅度降低了由温度变化所引起的基线漂移及直流平衡失调。
- (4)无需触发调整的触发电平锁定功能。该示波器装有一种新的触发电平锁定电路,这种电路省略了复杂的触发调整过程,无论是在显示规则信号、视频信号或是占空比大的信号,均能自动同步。
- (5)TV 同步触发。该示波器具有同步分离电路,在触发 TV 场及行信号时,能够跟随“t/cm”开关自动转换。
- (6)线性聚热。一旦聚焦到最佳状态,能自动维持聚焦状态,而与辉度变化无关。

17. 模拟示波器 SR33

模拟示波器 SR33 外形如图 22 所示。

SR33 型二踪 30MHz 示波器是一种全晶体管化宽带示波器,用来观察纳秒级脉冲信号及高速连续信号,并能定量地测量振幅、频率、上升及下降时间等参量,也可以使两个相关信号的波形和参量同时进行比较,因此在雷达、通信、计算机、电视等领域得到广泛应用。

仪器的 Y 轴偏转系统具有 Y1、Y2 两个结构相同的输入通道,可进行 Y1、Y2、交替、断续和 Y1+Y2 5 种 Y 轴显示方式进行选择。输入级采用结型场效应管源跟随器,改善了基线的漂移,缩短了预热时间。

仪器的 X 轴偏转系统由两个时基系统组成,它包括两套触发电路和 A、B 两组扫描,其中 A 扫描能单独进行常态和单次扫描,并能与 B 扫描组合,借助于控制旋钮,可在 A 扫描、B 加亮 A 扫描(简称为“加亮”)、A 延迟 B 扫描(简称为 B)和 AB 组合扫描等 4 种扫描显示方式进行选择,从而能显示信号波形中任意点的微小变化。由于整机的电源采用了多次稳压电路,从而提高扫描精度,改善了扫描系统的稳定性。

仪器的显示系统中,高频高压采用大功率硅管作振荡,提高整机的耐热能力。示波管的辉度由 Z 轴放大器来控制,辉度的变化由低压状态的电位器来调节,这样使电路及结

构安排都比较方便。

18. 模拟示波器 HG2060

模拟示波器 HG2060 外形如图 23 所示。

模拟示波器 HG2060 具有以下功能。

- (1) DC~60MHz, 2 通道 4 迹显示。
- (2) 可同时显示正常扫描和扩展扫描的波形。
- (3) 峰—峰自动同步, 无须调节触发电平即可观测到稳定的波形。
- (4) 垂直方式触发, 可同时观测两路不同频率的信号。
- (5) 完善的 TV 触发功能, 可方便地观测电视场或电视行信号。
- (6) 最快扫描速度 5ns/div。
- (7) Z 轴触发功能, 可和外调辉信号同步。
- (8) 有 X-Y 功能。

19. 模拟示波器泰克 TEK2245A

模拟示波器泰克 TEK2245A 外形如图 24 所示。

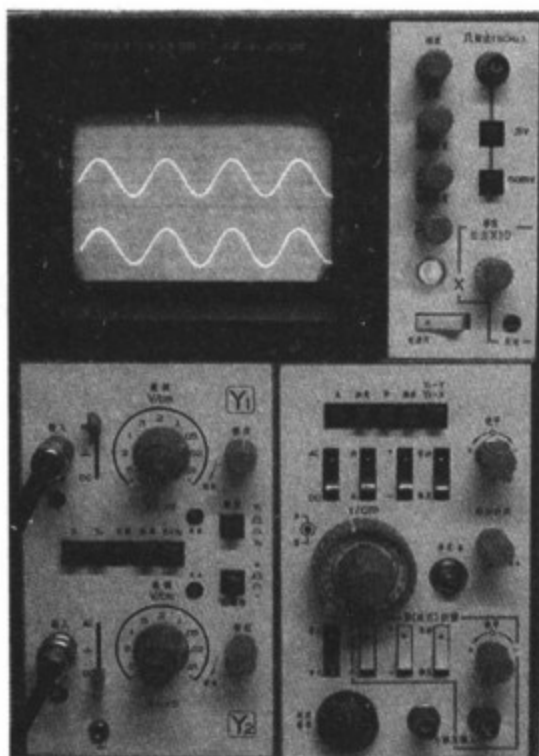


图 22 模拟示波器 SR33 外形

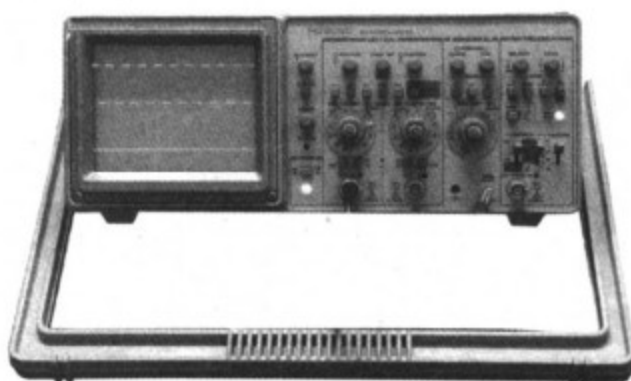


图 23 模拟示波器 HG2060 外形



图 24 模拟示波器泰克 TEK2245A 外形

该仪器具有以下功能。

- (1) 带宽 100MHz, 4 输入。
- (2) VOLTS/DIV 从 5mV/dir~5V/dir。
- (3) TIME/DIV 从 10nS/dir~0.5s/dir。
- (4) 具有 ADD、ALT、CHOP 功能。
- (5) 游标读值显示功能。
- (6) 输入阻抗 1M Ω 。

本机属于专业机种, 很适合测量及维修等行业。本机型具有游标读值显示功能, 利用此项功能可直接量取波形的电压、频率、周期等各项资料, 并直接显示在屏幕上, 读取方便, 免去计算麻烦。

20. 模拟示波器岩崎 SS-5711

模拟示波器岩崎 SS-5711 外形如图 25 所示。

SS-5711 是频带为 DC100MHz,能够显示 4 通道 8 踪的示波器。SS-5711 不仅广泛应用于生产制造与维护服务部门,而且还应用于各种电子设备、器件的研究与开发。

SS-5711 具有如下特性。

(1)除显示四通道八踪外,还具有 ADD 之功能,用来测量两个通道的信号之和,CH2 极性转换可用作测量两信号之差。CH1 和 CH2 都具有高达 $1\text{mV}/\text{div}(\times 5 \text{ 扩展})$ 的偏转因数,可作为精确电压测量。

(2)水平偏转系统最高扫速可达 $2\text{ns}/\text{cm}(\times 10 \text{ 扩展})$ 。所以,即使是高速现象也可精确加以测量。

(3)具有延迟扫描、单次扫描、交替扫描以及 X-Y 显示功能,并具有电视同步信号分离电路,因此可以用来观测电视及其他复合视频信号波形。

21. 模拟示波器菊水 COS6100G

模拟示波器菊水 COS6100G 外形如图 26 所示。

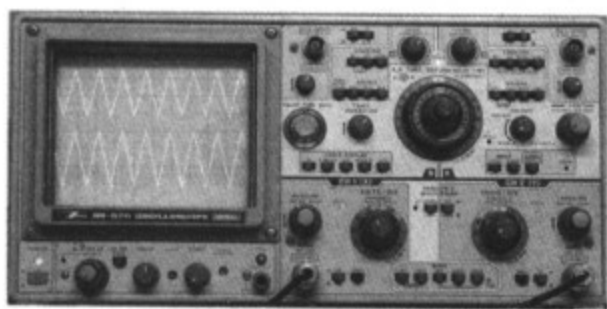


图 25 模拟示波器岩崎 SS-5711 外形



图 26 模拟示波器菊水 COS6100G 外形

COS6100G 是一种通用可携带式示波器,它具有显示 5 通道 12 迹的能力,并采用有红色内部刻度线的 6 英寸(1 英寸=25.4mm)长方形 CRT,COS6100G 示波器易于操作,并有极高的可靠度。

COS6100 示波器主要特性如下。

(1)清晰的波形观察。阴极射线管是一具有红色内部刻度线的 6 英寸大荧幕的长方形 CRT,其荧幕大小为 $80\text{mm} \times 100\text{mm}$,此红色刻度线产生一高解析度的背景,因而易于观察波形。

(2)高灵敏度及宽广的频宽。最大的垂直灵敏度是 $1\text{mV}/\text{div}(\times 5 \text{ 扩展})$,频率响应则为 $100\text{MHz}(-3\text{dB})$ 或更大。

(3)5 波道同时显示。COS6100G 采用一种新型的垂直开关电路,此电路使任何 CH1、ADD(CH1 \pm CH2)、CH2、CH3 及 TRIG、VIEW(CH4 及 CH5)间的组合皆可显示出来。最多可同时显示这 5 个波道;当在交替扫描时,最多可显示到 12 个轨迹。

(4)稳定交替触发功能。当在交替触发时,即使 CH1、CH2 及 CH3 的信号间没有时间关系,依然可达成稳定的触发。

(5)TV 同步触发。COS6100G 有一同步分离电路,它允许 TV 垂直信号及水平信号的触发,随着 TIME/DIV 控制而自动切换。

(6)交替扫描。在交替扫描模式,A 扫描及延迟扫描可以同时的观察。

(7)线性聚焦。电子束的聚焦一经调整后,呈保持的状态(不随亮度而改变)。

22. 模拟示波器日立 V-1565

模拟示波器日立 V-1565 外形如图 27 所示。

(1)光标测定功能可以迅速而准确地获得测定值。

(2)自动聚焦可以根据亮度自动调整焦距。

(3)时间轴量程可自动设定在最佳扫描时间。

(4)自动触发电平可根据输入信号的振幅,将触发电平可变范围自动设定在最佳范围。

(5)CRT 读出功能可将通道 1/通道 2 灵敏度、扫描时间、延迟时间、回扫时间状态等显示在荧光屏上。

(6)内装有 4 位频率计数器,可自动测定输入信号(触发信号选择通道)的频率,显示在荧光屏上。

(7)具备触发锁定功能,在观测复杂的脉动序列时,即使改变时间量程,也能获得稳定的同步。

(8)直流偏移功能,可垂直放大显示超过垂直位置可变范围的部分。

(9)延迟扫描,方便进行放大观测,利用交替扫描功能,可同时显示主扫描和延迟扫描。

(10)全部型号均装备有专用 TV 同步电路。主要规格如下。

CRT:6 英寸方形。

加速电压:17kV。

垂直轴灵敏度及准确度:2mV/div~5V/div $\pm 2\%$ 。

垂直轴频率范围:DC~100MHz。

水平轴扫描时间:A(主)扫描:50ns/div~0.5s/div $\pm 3\%$,B(延迟)扫描:50ns/div~50ms/div $\pm 3\%$ 。

水平轴最大扫描时间:5ns/div($\times 10$)。

频率计数:20Hz~100MHz,4 位数。

光标测定:电压差,时间差,频率,电压差,时间差(同时测定)。

23. 数字存储示波器惠普 HP-54503A

数字存储示波器惠普 HP-54503A 外形如图 28 所示。

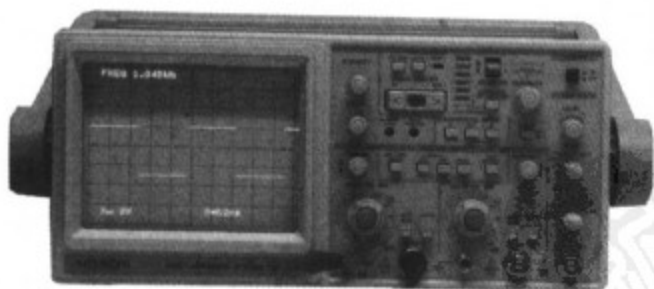


图 27 模拟示波器日立 V-1565 外形

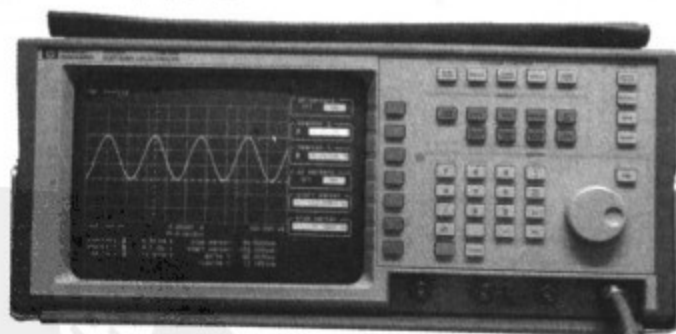


图 28 数字存储示波器惠普 HP-54503A 外形

HP-54503A 有自动调整和定标、直接硬复制输出、自动测量、非易失状态设置、波形存储和全 HP-IB 编程等功能。这种功能强大的示波器可加快硬件设计及调试,以适应用户需要。HP 先进的逻辑触发是 HP-54503A 的标准特性,它可在用户需要的条件下触发,边沿、逻辑组合、状态或延迟后触发等触发功能都可以捕获难以捕获的信息,如时间超差信号或瞬态总线信息。用 HP 的逻辑触发方式可迅速在多至 4 个通道上查找偶发事

件,以确定异常现象及原因,在系统出现故障的情况下探查其他点,尽快地查明原因。

HP-54503A 提供的自动测量能力可快速得到信号特征。基于标准或用户定义的门限电平,可获 17 种测量选择,统计测量可连续显示每种测量的最大、最小和平均值。

如果用户需要同时对各种独立事件进行分析,可用顺序单次信号捕捉能力获得无死区时间的脉冲,用户以后可用普通、平均或包络方式单个或同时分析这些脉冲。

24. 数字存储示波器 DL1540C

数字存储示波器 DL1540C 外形如图 29 所示。

DL1540C 是一种新型的可携带的数字示波器,该仪器具有彩色 TFT LCD,可以很容易地对示波器数据进行阅读,并且该种仪器比传统的数字示波器要轻 1kg。

该仪器的主要功能如下。

(1)长记忆功能。DL1540C 可以以长记忆的方式获得目标的波形。DL1540C 的所有测量数据被分成为固定的间隔,只有每个间隔中的最大和最小的数据才会被显示在屏幕上(峰峰压缩数据)。这种压缩的功能可以使在单一的屏幕上显示更多的波形数据。

(2)聚焦功能。DL1540C 将所有在长记忆之中所获得的测量数据进行压缩,并且将压缩的结果显示在屏幕上。该聚焦的功能不是用来增加主显示屏上的数据。相反地,该功能的主要作用是在已获得的数据之中挑选出需要的数据并且将其聚焦的一种功能。

(3)显示参数自动测量。诸如最大电压、占空比、频率及 RMS 可以被自动地进行测量。这样就可以防止由于人工阅读所导致的错误。

(4)波形计算功能。波形计算功能可以执行诸如加、减、乘等不同频道之间的计算。在频道之间的相移也可以运用在计算功能之上。

该示波器还有很多重要功能,这里不再一一列举。

25. 数字存储示波器泰克 TDS2022

数字存储示波器泰克 TDS2022 外形如图 30 所示。

TDS202 示波器属轻小型便携式产品,可随身携带。从高效率的前面板和生动的彩色显示,到探头校验向导、上下文相关帮助以及 11 种标准自动测量。这些功能都有助于用户轻而易举地使用仪器,而且还可将其应用于各个相关的测试领域,如数字设计和调试、制造测试和质量控制、维护和修理以及教育和培训等行业。

该仪器的主要特点如下。

(1)带宽:200 MHz。

(2)取样速率可达 2GSa/s,2 通道。

(3)4 种捕获方式:峰值检测(12ns 毛刺)、采样、平均、单次。

(4)彩色或单色 LCD 显示。



图 29 数字存储示波器 DL1540C 外形

- (5)“自动设置”菜单和波形选择。
- (6)探头校验向导可确保探头的正确使用。
- (7)上下文相关帮助。
- (8)双时基。
- (9)高级触发(含脉宽触发,时限范围 33ns~10s)。
- (10)11项自动测量。
- (11)中文用户界面。
- (12)波形和设置存储器。
- (13)具备 FFT 功能。

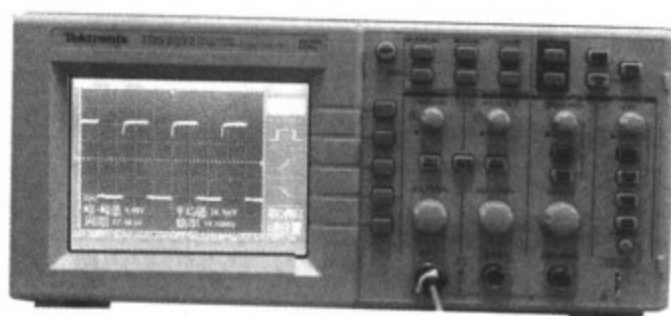


图 30 数字存储示波器泰克 TDS 2022 外形

三、频谱分析仪

1. 频谱分析仪 HP8569B

频谱分析仪 HP8569B 外形如图 31 所示。

主要性能指标如下。

频率范围:10MHz~22GHz。

扫描带宽:从 500MHz~1kHz。按 1-2-5 序列依次步进。

中频带宽:3MHz, 1MHz, 300kHz, 100kHz, 30kHz, 10kHz, 3kHz, 1kHz, 300Hz, 100Hz。

参考电平:从 -112dBm~+60dBm(最大输入不超过 +30dBm)。0dB~-12dB 的连续可调。

输入衰减器:0dB~70dB, 10dB 步进。

输入灵敏度:-123dBm~+30dBm。

Y 轴标量选择:10dB/格;5dB/格;2dB/格;1dB/格;线性的。

输入阻抗:50Ω。

扫描时间:2μs/格~10s/格。按 1-2-5 序列依次步进。

数字显示频率和 CRT 数字显示;HP-1B 接口控制和数据输出。

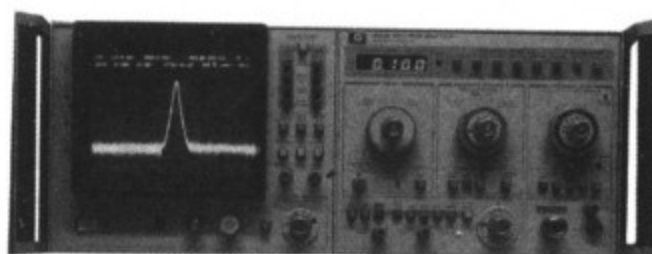


图 31 频谱分析仪 HP8569B 外形

2. 频谱分析仪安捷伦 E4403B

频谱分析仪安捷伦 E4403B 外形如图 32 所示。

该仪器具有快扫描、立即显示、自动极限测试和单按钮测量的多种优点。最大频率测量范围可达 3GHz。内装的磁盘驱动器, VXI 即插即用驱动程序,以及可选的 GPIB 或 RS-232 接口,简化了数据传输和程序的开发。

3. 频谱分析仪爱德万 TR-4122B

频谱分析仪爱德万 TR-4122B 外形如图 33 所示。

TR-4122B 是一台集频谱分析仪、信号源、频率计、扫频仪 4 种功能为一体的综合测试仪器。它所能测的频率范围为 100kHz~1500MHz,用于宽带放大器的平坦度和增益的测量、电视场强的测量、射频信号的频谱分析,由于有个 8 位的频率显示,可以在荧屏上用光标精确读出频率值,这台频谱仪带有跟踪源输出,使这台仪器功能得到扩展。



图 32 频谱分析仪安捷伦 E4403B 外形

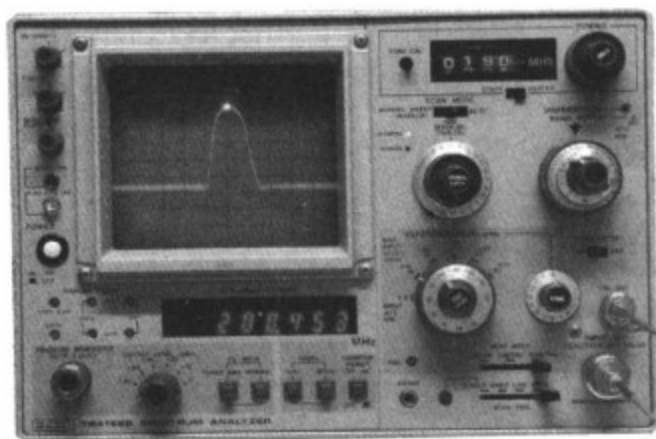


图 33 频谱分析仪爱德万 TR-4122B 外形

四、扫频仪

1. 扫频仪 BT3C

扫频仪 BT3C 的外形如图 34 所示。

BT3C 型频率特性测试仪是利用示波管直接显示被测设备的频率响应曲线的仪器,该仪器为 BT3 型频率特性测试仪系列产品,由于采用晶体管、集成电路,因此本仪器与 BT3 型相比较具有功耗小、体积小、质量轻、输出电压高、寄生调幅小、扫频非线性系统数小、衰减器精度高、频谱纯度好、不分波段扫频、显示灵敏度高等特点。

用它可测定无线电设备(如宽带放大器、雷达接收机的中频放大器、高频放大器、电视机的公共通道、伴音通道、视频通道以及滤波器等有源和无源器四端网络)的频率特性。

该仪器主要技术参数如下。

- (1)中心频率可在 1MHz~300MHz 内连续调节。
- (2)最小扫频频偏小于 $\pm 0.5\text{MHz}$,最大扫频频偏大于 $\pm 15\text{MHz}$ 。
- (3)扫频频偏在 $\pm 15\text{MHz}$ 以内,输出扫频信号寄生调幅系数不大于 7%。
- (4)扫频频偏在 $\pm 15\text{MHz}$ 以内,输出扫频信号的调频非线性系数不大于 10%。
- (5)输出扫频信号电压大于 0.5V(有效值)。
- (6)频率标记信号为 1MHz, 10MHz, 50MHz 及外接 4 种, 1MHz 和 10MHz 组合显示,其余两种分别显示。
- (7)扫频信号输出阻抗为 75Ω 。
- (8)检波探头输入电容不大于 5pF(最大允许直流电压为 300V)。

2. 扫频图示仪 BT-15A

扫频图示仪 BT-15A 外形如图 35 所示。

BT-15A 型扫频图示仪是扫频范围在 0.5MHz~1300MHz 的频率特性分析仪,其应用领域遍及于工厂、研究所、大专院校、电视中心、卫星通信地面站等单位的实验、生产车间和计量维修部门。主机由扫频信号发生器及显示器两部分组成,另配有对数放大器插件、驻波比电桥、各种高频器件等多种成套附件。

该机可在 0.5MHz~1300MHz 频段内,定量测量全部有源、无源双口网络的传输特性(增益或衰减)和反射特性(回波损耗或电压驻波比),还可测量射频电频、通频带、频率、等效介电常数等多种电气参数。被测对象包括各种放大器、滤波器、混频器、调谐器、隔离

器、检波器、频率变换器、阻抗变换器、射频电缆、短路器、天线、负载等,以及具有频率输入响应的多种仪器整机(如示波器、电视差转机、电视机等)。

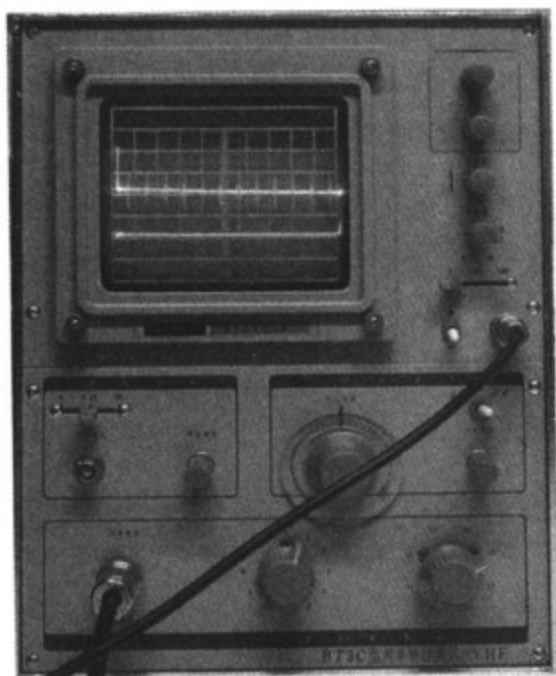


图 34 扫频仪 BT3C 外形

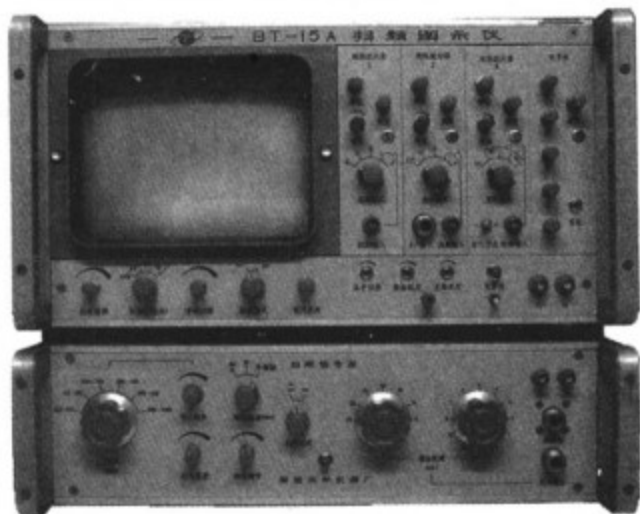


图 35 扫频图示仪 BT-15A 外形

该产品主要特点是:频率范围宽、动态范围宽、固有噪声小、输出电压的频响平坦度指标高、谐波分量低、反射小、衰减精度高,电桥具有高方向性,多通道大屏幕显示,具有多种可供选择的插件、附件,扫速可调。从而有测量范围宽速度快、分辨率高、操作简便、测量误差小等特点。

主要性能指标如下。

频率范围:0.5MHz~1300MHz,分 6 个波段:0.5MHz~120MHz,115MHz~210MHz,200MHz~360MHz,350MHz~610MHz,600MHz~910MHz,900MHz~1300MHz。

扫频宽度:各频段从 1MHz 扫宽到满复盖,连续可调。

中心频率:任意。

残余调频:I 波段:≤±20kHz,其余波段:≤±50kHz。

输出电压:0.4V±10%(有效值,50Ω 负载)。

谐波抑制:≥30dB。

五、逻辑分析仪

1. 逻辑分析仪 HP1652B

逻辑分析仪 HP1652B 外形如图 36 所示。

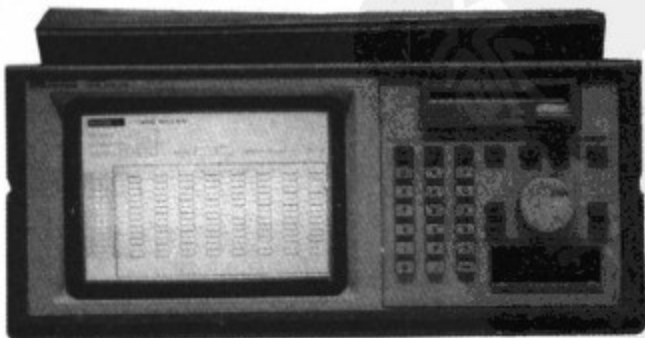


图 36 逻辑分析仪 HP1652B 外形

逻辑分析仪 HP 1652B 包含一个 80 通道 35MHz 的状态分析仪和一个 100MHz 的时序分析仪以及一台双通道 100MHz 的数字示波器。逻辑分析仪可按功能分为状态分析仪和时序分析仪,它们基本结构相似,主要区别在于采样时钟的来源。

状态分析仪便于从大量数据中迅速发现错码,进行分析。字系统进行实时分析,检查在系统时钟作用下总线上的信息状态。它的内部无时钟发生器,来自被测系统的时钟控制记录操作和同步。在显示方式上,用字符 1、0 或助记符表示被测对象的逻辑状态,显示时序分析仪仅用来考察不同系统时钟之间的数字信号传输与时间的关系。它的内部有时钟发生器,在内部时钟作用下与被测系统异步工作,记录数据。在显示方式上,用一连串类似方波的伪波形代表高、低电平,逻辑 1 或 0,便于进行时间关系的分析。

HP 1652B 中内置的两个分析仪的任意一个都既可设为状态分析仪也可设为时序分析仪,它们共有以下 4 种工作组态。

单独使用一个 80 通道的状态分析仪。

单独使用一个 80 通道的时序分析仪。

同时使用一个 $M(M < 80)$ 通道的状态分析仪与一个 $80-M$ 通道的时序分析仪。

同时使用一个 $M(M < 80)$ 通道的时序分析仪与一个 $80-M$ 通道的状态分析仪。

以上任何一种组态中,都可增加一个双通道数字示波器协同工作。

该仪器具有 HP-IB 接口和 RS-232C 接口,带 3 英寸磁盘驱动器。

应用范围:逻辑电路分析、电子产品逻辑故障分析、逻辑电路辅助设计等。

2. 逻辑分析仪 HP1654B

逻辑分析仪 HP1654B 外形如图 37 所示。

逻辑分析仪 HP1654B 具有以下特点:全通道 100MHz 定时分析,64 通道,35MHz 状态分析,最小 5ns 的毛刺捕捉,每通道 1k 存储,主机备有 3.5 英寸软盘驱动器,具有屏幕复制功能,大屏幕显示,自然语言人机对话设计,带 IEEE-488 接口。

3. 逻辑分析仪 HP1662AS

逻辑分析仪 HP1662AS 外形如图 38 所示。



图 37 逻辑分析仪 HP1654B 外形



图 38 逻辑分析仪 HP1662AS 外形

HP1662AS 具有逻辑分析仪和示波器的双重功能。

示波器指标:双通道、250MHz 带宽、采样速率 1GSa/s。

逻辑分析仪指标:100MHz 状态分析,500MHz 定时分析、68 通道,存储深度每通道 4k,有标准的 HP-IB 和 RS-232 接口,内置 DOS 格式 3.5 英寸软驱,单色显示屏。

六、信号发生器

1. 脉冲信号发生器 1523

脉冲信号发生器 1523 外形如图 39 所示。

该仪器具有以下特点:双脉冲信号发生器,100Hz~50MHz,脉宽及延迟 10ns~5ms,前后沿 $\leq 5\text{ns}$,输出 0.5V~10V,具有单双脉冲、正常倒置功能。

2. 脉冲信号发生器 NF1535

脉冲信号发生器 NF1535 外形如图 40 所示。

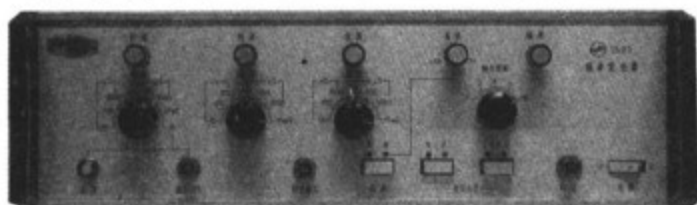


图 39 脉冲信号发生器 1523

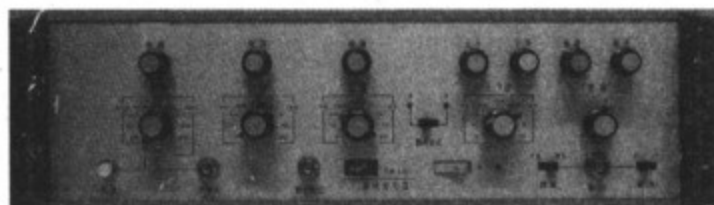


图 40 脉冲信号发生器 NF1535 外形

NF1535 脉冲发生器是一种前后沿可调,并且有双脉冲等功能的通用脉冲发生器。仪器输出脉冲的频率、延迟时间、脉冲宽度、前后沿、幅度及偏移均连续可调,不仅可以输出单脉冲,还可以输出双脉冲,不仅可以输出前后沿较快的矩形脉冲,还可以输出前后沿较慢的梯形波、三角波、锯齿波,输出脉冲的最高频率可达 100MHz,最大幅度为 5V,正负极性可以任意选择,脉冲占有率小于或等于 50%,输出脉冲的波形还可以倒相,使等效的脉宽占有率达到 90%以上。脉冲波形的基线直流电平可以在 0 参考点偏移 $\pm 1\text{V}$ 。此外,仪器还具有外触发、闸门等功能,并且具有前置输出脉冲,还用以触发其他测试系统及无线电设备,实现仪器输出脉冲与其他测试系统同步。

该仪器采用了分立元件与 ECL 高速集成电路的混合程式,具有性能稳定可靠,输出波形失真小,使用方便等特点,适用于脉冲电路、逻辑电路的研究、半导体器件参数的测试等,可广泛用于激光、半导体器件、电子计算机等研究领域,,有关工厂、院校、科研部门一种较为理想的通用脉冲信号源。

3. 低频信号发生器 J2462

低频信号发生器 J2462 外形如图 41 所示。

主要特性如下。

正弦波频率特性: $\pm 1.5\text{dB}$,以频率 1kHz、负载 300Ω 、输出电压 3.5V 为基准,当频率在 20Hz~560kHz 范围内输出电压变化 $\leq \pm 1.5\text{dB}$ 。

正弦波的非线性失真:在频率范围内没有明显失真。

最大输出电压:正弦波(负载 300Ω) $> 3.8\text{V}$,方波(负载 $1\text{k}\Omega$) $> 3\text{V}$ (峰峰值),三角波(空载) $> 2.5\text{V}$ (峰峰值)。

正弦波输出电压衰减范围:分 0dB、20dB、40dB 3 挡,误差 $\leq \pm 1.5\text{dB}$ 。

4. 低频信号发生器 TD1010

低频信号发生器 TD1010 外形如图 42 所示。

该信号源可有正弦、余弦及方波的正负脉冲输出,频率范围 0.001Hz~100kHz 主输出(正弦)及正交输出(余弦),内阻为 200Ω ,可输出 0V~10V(有效值)电压。脉冲和方波的输出幅度为 $\pm 2.5\text{V}$ (峰值),内阻为 50Ω 。

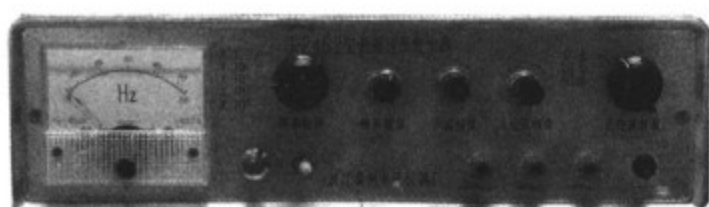


图 41 低频信号发生器 J2462

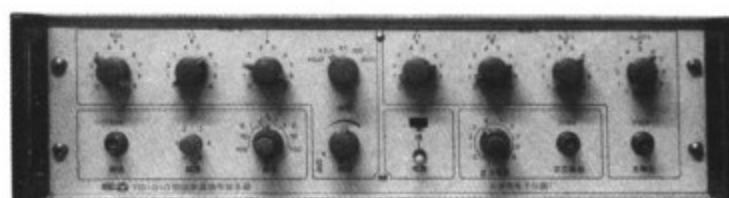


图 42 低频信号发生器 TD1010

TD1010 采用优良的自动增益控制电路,具有频率响应好、失真低、幅度稳定性高等特点。可广泛用于各种无线电测试仪器的调整、校准和测试。

5. 低频信号发生器 XD1

低频信号发生器 XD1 外形如图 43 所示。

该仪器是一种多种用途的 RC 信号发生器。能产生从 1Hz~1MHz 的正弦波电振荡。除电压级输出外,并具有最大为 4W 左右的功率输出。功率输出可配接 50Ω、75Ω、150Ω、600Ω、5kΩ 等 5 种负载,电压输出和功率输出的最大衰减均达 90dB。仪器附有满量程为 5V、15V、50V、150V 的电压表,供本机测量和外部测量。该仪器可供工厂或实验室作为相应频段的信号源使用。

6. 低频信号发生器 XD2

低频信号发生器 XD2 外形如图 44 所示。



图 43 低频信号发生器 XD1 外形

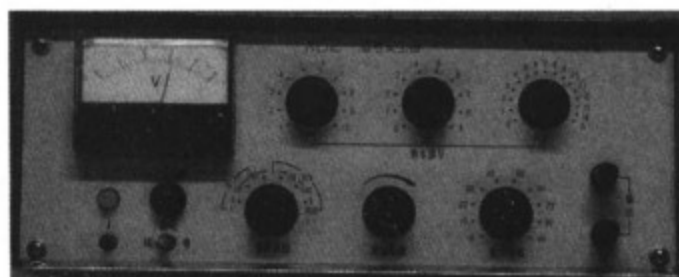


图 44 低频信号发生器 XD2 外形

低频信号发生器主要用于测量录音机、扩音机、电子示波器、无线电接收装置等电子设备中的低频放大器的频率特性。XD2 是一种多功能、宽频带通用测量仪器,它能提供频率范围 1Hz~1MHz 的正弦波信号,输出电压幅度为 0V~5V 可调。

XD 2 系列(包括 XD2-1, XD2A-1, XD2B-1)低频信号发生器是一种多用途的 RC 信号发生器。它能产生 1Hz~1MHz 的正弦波电源振荡信号,最大输出不小于 5V,最大衰减量达 90dB,具有较小的失真度,本机有满量程为 5V 的电压表指示, XD2A-1 兼有功率输出极,如工作在功率挡带 50W 负载可给出 0.5W 功率输出。XD2B-1 也有一定的负载能力,可带 600W 负载。该仪器适用于工厂、科研及其他领域做相应频段的信号源使用。

7. 宽频带低频信号发生器 XD22

宽频带低频信号发生器 XD22 外形如图 45 所示。

该仪器可产生 1Hz~1MHz 的正弦波信号、脉冲信号和逻辑信号(TTL),其正弦波信号具有很小的失真、良好的频响,输出电压有效范围为 0.05mV~6V,以及标准的 600Ω 输出阻抗等特点;脉冲信号的幅度和宽度均为连续可调;TTL 具有很强的负载能力和理想的波形等特性。电路设计合理,性能可靠稳定,频率用数码管显示,使用极为简便。因此,是一台性价比较高的通用测量仪器,可供工厂、实验室、科研单位使用,也适合于大专

院校的无线电实验室使用,是一台用途很广的教学仪器。

8. 低频信号发生器 XD-7

低频信号发生器 XD-7 外形如图 46 所示。



图 45 宽频带低频信号发生器 XD22 外形



图 46 低频信号发生器 XD-7 外形

该仪器具有以下特点;全晶体管化,可产生从 20Hz~200kHz 非线性失真很小的正弦波电振荡,除电压级输出外,并具有不小于 5W 的功率输出(20Hz~20kHz)。功率输出可配接 8W、600W、5kW 3 种负载,功率输出还有 80dB 的最大衰减量。本仪器可作为调测相应频段的放大器、调制器、传输网络以及电声设备等用的低频信号源。

9. 函数信号发生器 YDS996

函数信号发生器 YDS996 外形如图 47 所示。

该函数信号发生器能产生 0.1Hz~1MHz 的正弦波、方波、三角波、脉冲波、锯齿波信号波形,具有直流电平调节、占空比调节。适合在音频、机械、化工、电工、电子、医学、土木建筑等各个领域的科研单位、工厂、学校、实验室用,并可用于学校电工、电子及相关课程的教学演示示教。

主要技术指标如下。

频率范围:0.1Hz~1MHz。

输出波形:正弦波、方波、三角波、脉冲波、锯齿波信号波形等。

电压幅度:最大 20V(峰峰值)。

功率: $\geq 3\text{W}$ 。

衰减器:30dB。

直流电平:-10V~+10V。

占空比:10%~90%(方波)。

频率误差: $\leq \pm 5\%$ 。

10. 函数信号发生器安捷伦 33120A

函数信号发生器安捷伦 33120A 外形如图 48 所示。

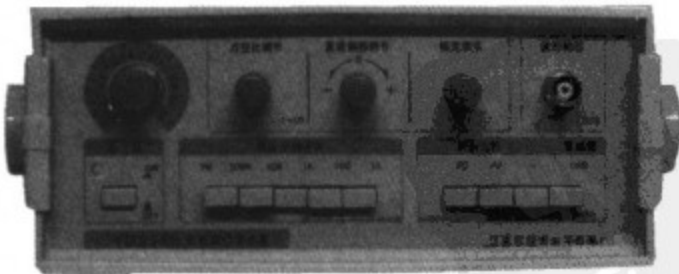


图 47 函数信号发生器 YDS996 外形



图 48 函数信号发生器安捷伦 33120A 外形

安捷伦 33120A 采用最新的技术,可提供 15MHz 全功能线形、对数扫描;可输出正弦波、三角波、方波、斜波、噪声及其他波形,具有 GPIB、RS-232 两种接口标准,是一种采样速度为 40MSa/s 的任意波形发生器。

11. 功率函数发生器 YB1631

功率函数发生器 YB1631 外形如图 49 所示。

YB1631 型功率函数发生器可产生多种信号,由 6 位数字显示信号的频率,该机频率连续可调,信号幅度输出不随频率变化,废除了传统的表头监视法,该机还可以作为一个 10MHz 的频率计使用,是一个多功能的信号发生器。

主要技术指标如下。

输出波形:方波、正弦波、三角波、锯齿波、矩形波。

信号幅度:分 2 挡输出,30V(峰峰值)、50V(峰峰值)。

频率:1Hz~100kHz,配合占空比调节,频率下限可达 0.1Hz。

功率输出:分 2 挡输出,30V(峰峰值)/2A(峰峰值)、50V(峰峰值)/1A(峰峰值)。

频率范围:正弦波:1Hz~100kHz;其余:1Hz~10kHz。

电压衰减:分 10dB、20dB、40dB 任意组合,可组成 0dB~70dB 衰减,按 10dB 步进,精度 $\pm 3\%$ 。

输出电阻;电压输出:600 Ω ;功率输出:分 0 Ω 、50 Ω 两挡。

12. 函数发生器 S101

函数发生器 S101 外形如图 50 所示。

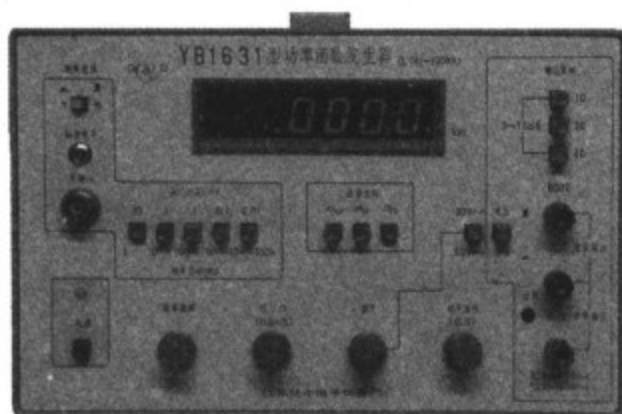


图 49 功率函数发生器 YB1631 外形

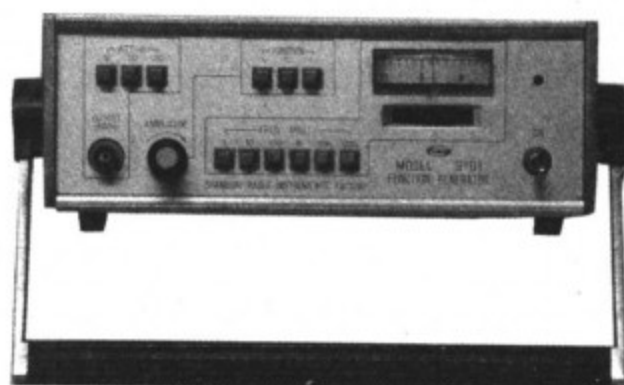


图 50 函数发生器 S101 外形

该仪器是一种能产生正弦波、方波、三角波的信号发生器,频率范围 1Hz~1MHz。可用作音频放大器频响快速测试、失真分析,电路的瞬态响应测试、线性分析,也可作其他各种测试信号源,十分方便。

主要技术指标如下。

频率范围:1kHz~1MHz 共 6 挡。

输出波形:正弦波、方波、三角波。

输出电压:20V(峰峰值)(负载开路),10V(峰峰值)(600W 负载)。

波形特性如下。

正弦波:频率范围 1Hz~100kHz,失真 $< 3\%$,100kHz~1MHz,失真 $\leq 5\%$ 。

三角波:非线性 $< 2\%$ (1kHz 点)。

方波:上升时间 $< 100\text{ns}$ (1kHz 最大输出时)。

13. 程控高频信号源 HM8134

程控高频信号源 HM8134 外形如图 51 所示。

HM8134 是同类产品中少有的,它结合了多功能、精、准、快、容易操作等优点,是物超

所值的杰作,它提供极宽的频率覆盖,1Hz~1.024GHz,在音频、视频、中频以至高频通信皆可使用。HM8134 提供了调幅调频、调相及闸门调制。内设正弦、方形、三角、斜波等信号,供 AM、FM、PM 等调制使用。外调制频宽为 10Hz~50kHz,调频深度为±400kHz,调幅度为 0~100%。

14. 高频信号发生器 LSG-17

高频信号发生器 LSG-17 外形如图 52 所示。



图 51 程控高频信号源 HM8134 外形

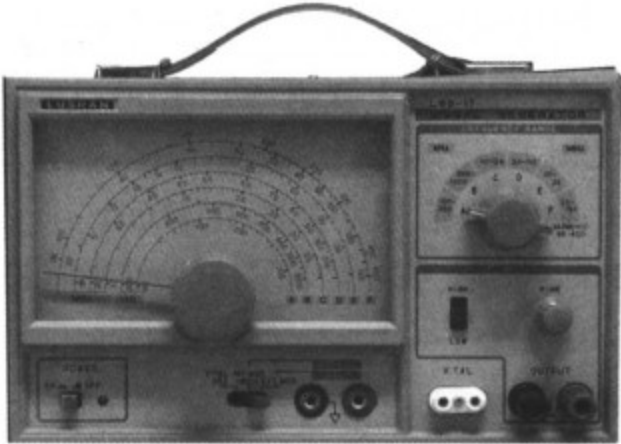


图 52 高频信号发生器 LSG-17 外形

该仪器采用厚膜集成电路组成的多功能宽带信号发生器。配有清晰易读的频率刻度盘,另设有供调幅用的音频信号,并可输出外用;尤其适用于检查和调整电视机和接受机的射频和中频电路,又可作为扫频信号发生器的外路频标用。

频率范围:100kHz~150MHz,谐波可达 450MHz。

频率精确度:±1.5%。

15. 高频信号发生器 QF1076

高频信号发生器 QF1076 外形如图 53 所示。

QF1076 型信号发生器可产生 10MHz~520MHz 等幅波、调幅波、调频波信号。仪器每一波段的频率采用机械调谐来满足,频率细调采用电调谐。仪器的射频频率用发光二极管数字显示,输出电平采用了自动稳幅电路。仪器结构紧凑,布局新颖、合理,操作简单,适用于车间、实验室测试及维修 10MHz~520MHz 范围内的接收机。

16. 全频道彩色/黑白图像信号发生器 XT-14B

彩色/黑白图像信号发生器 XT-14B 外形如图 54 所示。

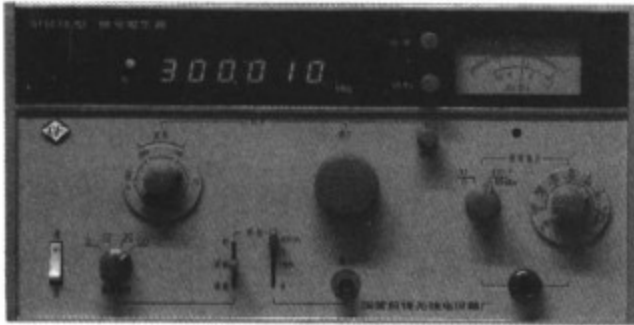


图 53 高频信号发生器 QF1076 外形

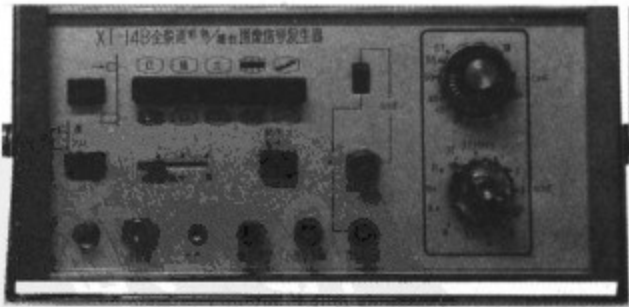


图 54 彩色/黑白图像信号发生器 XT-14B 外形

彩色/黑白图像信号发生器 XT-14B 是调试、检测、维修彩色和黑白电视机理想的设备。主要功能如下。

彩色图像:彩条、红场、绿场、蓝场、矢量、特殊测试图案。

黑白图像:棋盘、电子圆、方格、水平条、灰度 8 等级、棋盘+电子圆、方格+电子圆。

视频输出:0~3V(峰峰值)(75 Ω)。

射频输出:1 频道~12 频道:>70mV;13 频道~56 频道:>10mV。

伴音:载频 6.5MHz \pm 0.5%。

行频:15625Hz。

场频:50Hz。

17. 彩色电视信号发生器 868-2

彩色电视信号发生器 868-2 外形如图 55 所示。

该仪器可产生 1 频道~56 频道,16 种测试图形,6.5MHz 伴音,38MHz 中频,1V(峰峰值)视频。

18. 白噪声信号发生器 DM1661

白噪声信号发生器 DM1661 外形如图 56 所示。

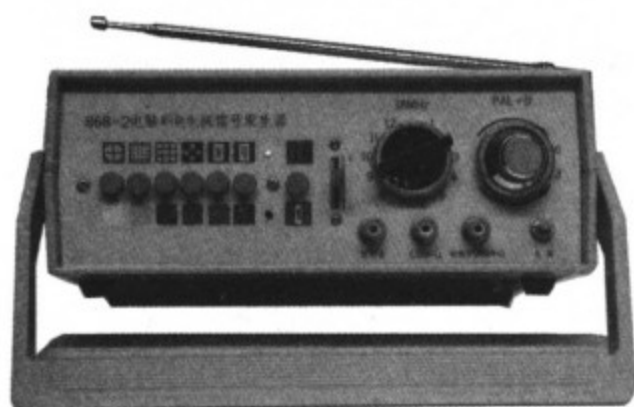


图 55 彩色电视信号发生器 868-2 外形



图 56 白噪声信号发生器 DM1661 外形

DM1661 是一台通用白噪声和粉红噪声发生器。它能输出 2Hz~200kHz 和 2Hz~20kHz 均匀频谱密度,幅度分布为高斯分布的白噪声及 2Hz~20kHz、2Hz~200kHz 频率范围内的粉红噪声 4 种信号。它的主要用途是作为测试设备中模拟在实际电路和系统中产生的噪声源,例如用来测量放大器的极限灵敏度,测量接收机的噪声系统数,测量自动控制系统及遥控系统的抗干扰度,测量雷达及导航系统的最大作用距离等。

该仪器和频谱分析仪、带通滤波器、记录仪等配合广泛应用于电声、水声、振动、建筑、电影及通信等领域的测量。

七、晶体管图示仪

1. 晶体管图示仪 QT14

晶体管图示仪 QT14 外形如图 57 所示。

晶体管图示仪 QT14 是一种可直接从显示屏观察晶体二极管、三极管、场效应管、可控硅特性曲线的专用仪器。可测共集电极、共发射极、共基极的输入、输出特性。测量各种极限特性及击穿特性,如反向饱和电流 I_{cbo} 、 I_{ceo} 和各种击穿电压 BV_{ceo} 、 BV_{cbo} 、 BV_{ebo} 和稳压二极管,最大集电极电流可达 20A,可以测量 5000V 以下的两端器件的击穿电压及反向漏电流,灵敏度可达 1mA/div。仪器的基极阶梯信号还设有脉冲阶梯信号源,其占空比可由 5%~10%连续可调。

2. 晶体管图示仪 QT2A

晶体管图示仪 QT2A 的外形如图 58 所示。

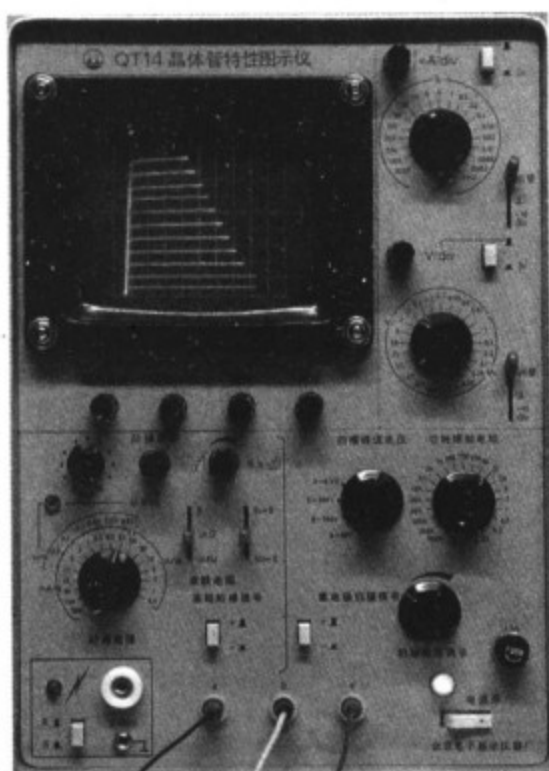


图 57 晶体管图示仪 QT14 外形
该仪器的功能与 QT14 基本相同。

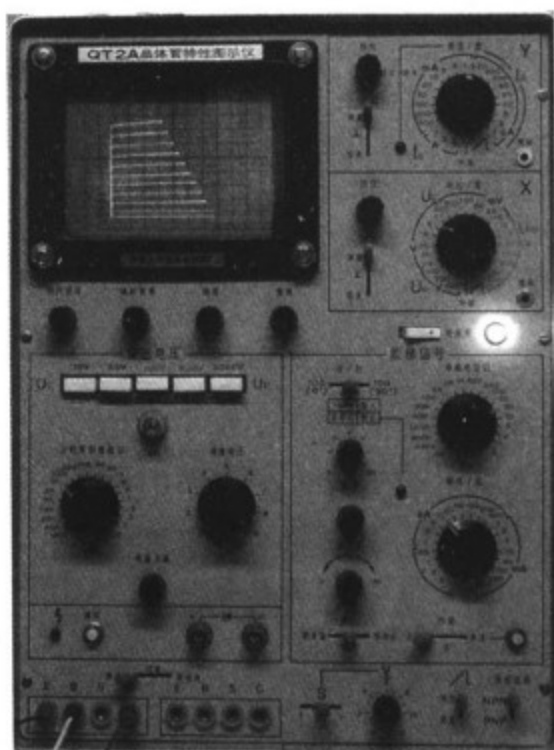


图 58 晶体管图示仪 QT2A 的外形

3. 晶体管图示仪 XJ4810

晶体管图示仪 XJ4810 外形如图 59 所示。

XJ4810 型半导体特性图示仪,是一种用示波管显示半导体器件的各种特性曲线,并可测量其静态参数的测试仪器。

该仪器主要由 Y 轴放大器及 X 轴放大器、阶梯信号发生器、集电极扫描发生器、主电源及高压电源等几部分组成。

该仪器是继 JT-1 后的开发产品,它除了继承 JT-1 的优点外,作了较大改进与提高,它与其他半导体管特性图示仪相比,具有以下特点。

(1)采用全晶体管化电路,体积小、质量轻、携带方便。

(2)增设集电极双向扫描电路及装置,能同时观察二极管的正反向输出特性曲线、简化测试手续。

(3)配有双簇曲线显示电路,对于中小功率晶体管各种参数的配对尤为方便。

(4)仪器专为工作于小电流晶体管测试作了提高,最小阶梯电流可达 $0.2\mu\text{A}/\text{级}$ 。

(5)仪器还专为测试二极管的反向漏电流采取了适当措施。

(6)仪器配上扩展装置,可对国内外各种场效应对管和单管进行比较测试。

(7)仪器配上扩展装置,可测试 CMOS、TTL 数字集成电路的电压传输特性。

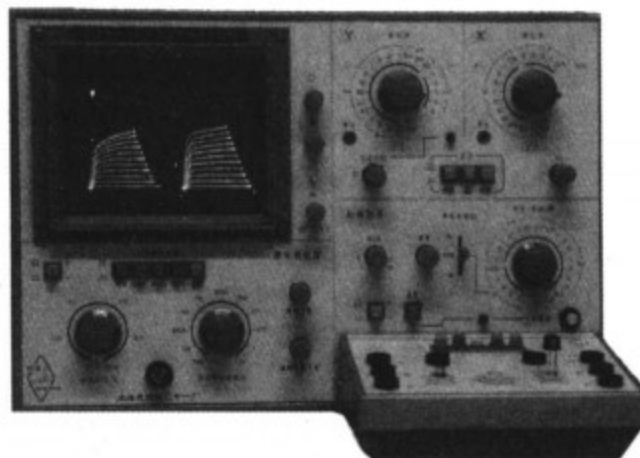


图 59 晶体管图示仪 XJ4810

八、频率计

1. 频率计 DF3321

频率计 DF3321 外形如图 60 所示。

频率计 DF3321 具有以下功能:采用大规模测频集成电路,8 位数码管显示,小数点自动显示,单位指示灯自动显示,带溢出指示,有标准频率自检功能。

主要技术参数如下。

测量范围:10Hz~10MHz。

频率分辨力:100Hz、10Hz、1Hz、0.1Hz。

输入阻抗:1M Ω /50pF。

最高灵敏度:30mV(均方根值)。

2. 数字频率计 ZWF-3B

数字频率计 ZWF-3B 外形如图 61 所示。

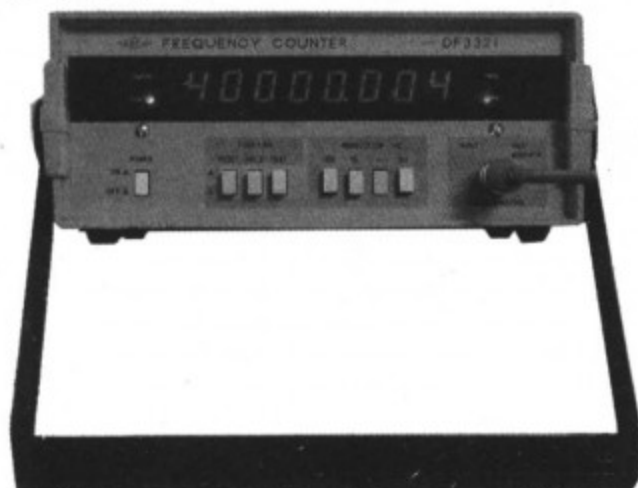


图 60 频率计 DF3321 外形

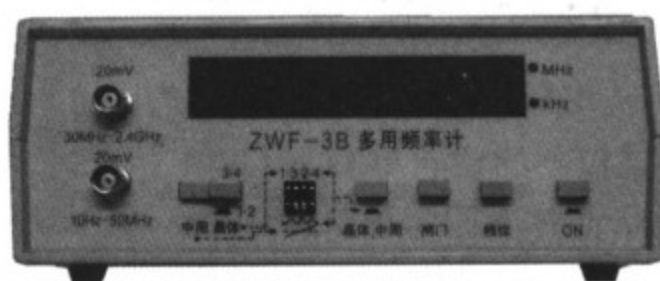


图 61 数字频率计 ZWF-3B 外形

ZWF-3B 型数字频率计具有:频率测量、脉冲计数及晶体、彩电中周校准等功能,并有 3 挡时间闸门、5 挡功能供选择和 8 位 LED 数码显示,频率测量范围为 10Hz~2.4GHz (2400MHz),可测量和调整 38MHz 中频,可数显 100kHz~40MHz 晶振。全部功能是用一个单片微处理器(CPU)来完成的,从而使整机性能稳定、体积小、使用携带方便,是一种高性能、低价位的理想智能数字化仪表。

3. 智能频率计 LT9801

智能频率计 LT9801 外形如图 62 所示。

该仪器是一个 10Hz~2400MHz 多功能智能频率计。具有 8 位高亮度 7 段 LED 显示,低功耗线路设计、体积小、质量轻,全部功能是用一个单片机集成电路完成的。

(1)频率测量。

0 挡位:30MHz~2400MHz,比例计数,通道 B 输入。

1 挡位:200kHz~30MHz,比例计数通道 A 输入。

2 挡位:10Hz~1MHz,直接计数,通道 A 输入。

(2)分辨率。

0 挡位:10Hz、100Hz、1000Hz 任选。

1 挡位:1Hz、10Hz、100Hz 任选。

2 挡位:0.1Hz、1Hz、10Hz 任选。

(3)闸门时间。

0.1s、1s、10s 任选。



图 62 智能频率计 LT9801 外形

九、稳压电源

1. WY10A-1 型稳压电源

WY10A-1 型稳压电源外形如图 63 所示。

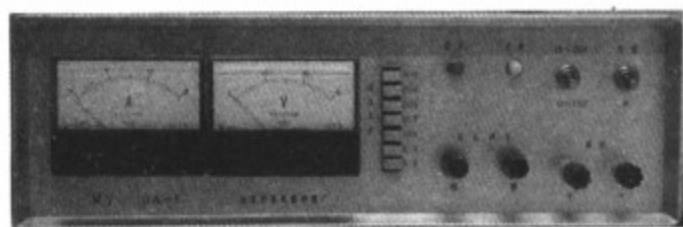


图 63 WY10A-1 型稳压电源外形

WY10A-1 型稳压电源系串联开关稳压电源,线路简单、效率高、体积小,电源输出 $1\text{V}\sim 30\text{V}$,分 $1\text{V}\sim 15\text{V}$, $15\text{V}\sim 30\text{V}$ 两挡,均可连续平滑调节。负载能力为 $0\text{A}\sim 10\text{A}$,线路具有过载及过压保护装置。此电源适用于一般实验室进行各种线路实验,也可以作为数字计算机电源。

2. 晶体管直流稳压电源 WYJ303

晶体管直流稳压电源 WYJ303 外形如图 64 所示。

该仪器是一种高精度、高稳定度、低内阻全晶体管化直流稳压电源。输出电压 $0\text{V}\sim 30\text{V}$,电压连续可调,输出电流 $0\text{A}\sim 3\text{A}$ 。当供电电压变化或负荷变化时,它均能输出额定的电压。可作为各种晶体管化仪器、仪表以及自动控制设备电子计算机的电源部分,也可作高精度晶体管设备装置和加热的直流电源。

3. 稳压电源 WD6

稳压电源 WD6 外形如图 65 所示。



图 64 晶体管直流稳压电源 WYJ303 外形

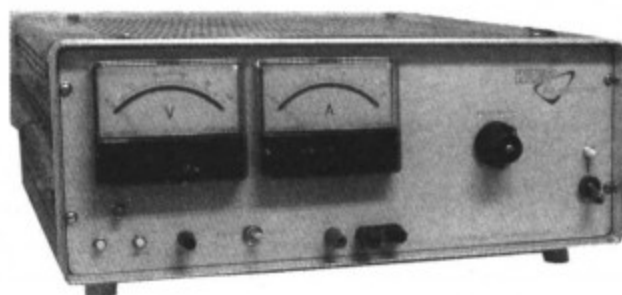


图 65 稳压电源 WD6 外形

该电源是一种具有高稳定度低内阻低电压大电流稳压电源,输出电压 $0\text{V}\sim 100\text{V}$,分挡连续可调,输出电流 $0\text{A}\sim 5\text{A}$ 。由于输出电压可以从零均匀调至额定值,因此特别适用于作为晶体管电路和整机仪器的调试以及半导体器件的生产与测试用电源,也可以作为晶体管化的整机、仪器及其他设备的电源以代替蓄电池。

十、音频分析和失真度测试仪

1. 音频分析仪 HP-8903B

音频分析仪 HP-8903B 外形如图 66 所示。

HP-8903B 音频分析仪能完成 $20\text{Hz}\sim 100\text{kHz}$ 的音频测量。它将低失真音频信号源、高性能失真度分析器、频率计数器、交流电压表、直流电表和 SINAD 计的功能综合在

一起,通过对信号源及分析仪的微处理机的控制,HP-8903B 无需另外的设备就可以自动完成对诸如信噪比和扫描失真等激励响应测量。

2. 失真度测试仪 S907-2

失真度测试仪 S907-2 外形如图 67 所示。



图 66 音频分析仪 HP-8903B 外形

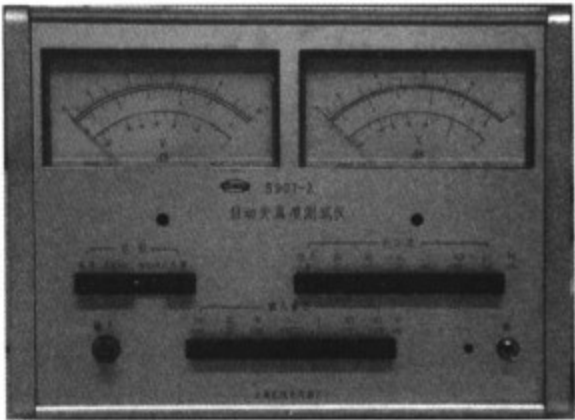


图 67 失真度测试仪 S907-2 外形

该仪器是由全半导体管电路构成的音频信号失真度的自动测试设备。其主要用途是测试基波频率为 1000Hz 和 400Hz(或 315Hz)的音频信号的总谐波失真。

本仪器具有下述优良特性。

- (1)在测量信号失真度时,不需要进行初始基准校正。
- (2)输入电压幅度有较小的变化时,也能进行失真度测量,并不影响测试精度。
- (3)低频噪声,例如交流哼声等对失真度测量没有影响。该仪器也能测量诸如磁带录音机、电唱机等发出的带有频率颤动的信号的失真度。
- (4)在 20Hz~100kHz 范围内,该仪器可以作为一个灵敏的电压表使用。与测量信号失真度的同时,也可以测量信号的输入电压和分贝电平(0dB=1V)。
- (5)为扩展本仪器的测试频率点,可以外接截止频率设计在 20Hz~10kHz 的高通滤波器。

3. 失真度测量仪 BS-1A

失真度测量仪 BS-1A 外形如图 68 所示。

该仪器主要用于测量低频放大设备和低频信号源的谐波失真程度,失真度可测到 0.03%,亦可单独用作平衡和不平衡式电压表测量交流电压和噪声。该仪器采用了有效值检波方式,因此它又是一台性能良好的有效值电压表。其频率范围从 2Hz~1MHz(平衡方式时为 20Hz~40kHz)电压范围从 1mV(满度)~300V(满度)(平衡方式时为 1mV~10V)。

4. 失真度测量仪 BS1

失真度测量仪 BS1 外形如图 69 所示。

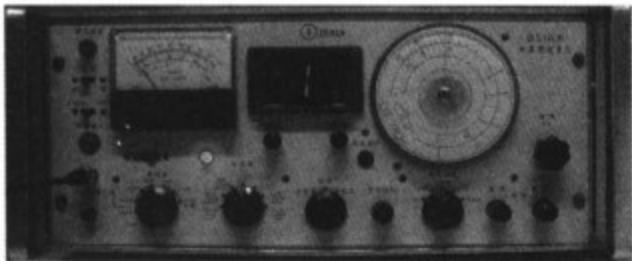


图 68 失真度测量仪 BS-1A 外形



图 69 失真度测量仪 BS1 外形

BS1 型失真度测量仪为全晶体管化高灵敏度的音频测量仪器。它可以测量各种类型的音频信号源的谐波失真度,最小失真可测至 0.03%,最低音频电压可测至 100mV。

它可以直接测量各种类型的音频放大设备和无线电收音机的谐波失真度、频率失真以及信噪比参数。完全适合实验室和生产流水线上使用。此外,由于该仪器内部设有平衡—不平衡转换电路,因此又可进行平衡失真度和平衡电压测量,在有线电系统测量中使用非常方便。

十一、其他

1. 无线电综测仪 R2600B

无线电综测仪 R2600B 外形如图 70 所示。

R2600 无线通信设备综合测试仪是一种便携式仪器,用于对频率范围为 400kHz ~ 999.9999MHz 的无线通信设备进行监视或维修。该仪器可发生信号,测量调制频率,完成一系列通常要由下列仪表才能完成的测试:射频信号发生器、频率计数器、场强计、灵敏测量接受机、AC/DC 电压表、信纳比表、频谱分析仪、射频功率计、畸变分析仪、双工偏移发生器、扫描发生器、示波器、信令编码/解码器。



图 70 无线电综测仪 R2600B 外形

2. 射频场强分析仪 Protek-3200

射频场强分析仪 Protek-3200 外形如图 71 所示。

射频场强分析仪 Protek-3200 宽频带,灵敏度高,具有多种扫频搜索方式,非常适于移动通信、无绳电话、无线电监控的测试和安装、生产和科研工作,是 RF 工程界的强有力助手。

主要功能如下。

测量范围:1MHz~2 060MHz。

可测量窄波段 FM(N-FM)、宽波段 FM(W-FM)、AM 及单带(SSB)信号。

可同时在 LCD 上显示 160 个频道的信号强度。

内置频率计数器。

所有功能用菜单选取。

内置扬声器。

3. 通用数字 IC 测试仪 LT-80C

通用数字 IC 测试仪 LT-80C 外形如图 72 所示。

LT-80C 通用数字 IC 测试仪是采用单片机技术的一种便携式仪器。能够准确、迅速地测量 TTL74/54、CMOS40/45 系列数字集成电路的好坏,自动识别不知名的集成块并显示其型号。本仪器体积小、质量轻、携带使用方便,并有蜂鸣器作为操作的提示声音。由一个 9V 叠层电池供电,并设一个外接电源插孔,其静态电流只有十几 mA。面板上有电源开关、一个 20 脚测试座、4 个操作按钮,外观简捷美观。非常适合科研、生产、维修及广大电子技术爱好者使用。



图 71 射频场强分析仪 Prottek-3200 外形



图 72 通用数字 IC 测试仪 LT-80C 外形

1) 工作原理

测试芯片的过程就是由 80C31 单片机、74HC573(功能等同 74HC373,只是引脚排列不同)、EPROM 27C256 组成的单片机系统,用存储在 EPROM 27C56 内的芯片的逻辑数据与芯片的实际输入输出逻辑关系逐一进行比较,如果相同则确定是该型号芯片。然后把型号送到显示电路,并发出一短音提示。如果没有与被测试芯片相同逻辑关系的数据,则认为是坏芯片或是其他种类的芯片,这时显示 999,并有三声短音提示。TTL74/54、CMOS40/45 系列芯片的引脚基本上在 14 脚~20 脚这个范围。测试时无论被测芯片引脚多少,芯片的 1 脚恒定在测试座的 1 脚,这就把 1 脚对边的正电源脚 V_{cc} 固定在测试座的 20 脚上,由此脚为被测芯片提供 +5V 电源。根据被测芯片引脚的多少,电源地由测试座的 7 脚~10 脚提供。由于测试中测试座除了 10 脚和 20 脚其余各脚要既能作为输入也能作为输出。80C31 的 P1 口、P3 口正好能满足要求。因为它们是有上拉电阻的开漏极输出,当作为输入时,可被输入的低电平拉低。由于 80C31 可用的 I/O 口不够用,所以扩展了一个与 80C31 类似的 8 位准双向 I/O 口。由 74HC573(8D 锁存器)74HC05(6 非门,开漏极输出)、74HC245(8 三态双向缓冲器)、三极管 VT1~VT4 等元件组成。输出由 74HC573 经 74HC139(B)址译码,用数据存储器的写操作指令将数据锁存输出,再经 74HC05 和 VT1~VT4 反向送到测试座。因 74HC573 的锁存使能为高电平有效,所 74HC139(B)的 Y0 的选通信号加一个非门反向。测试座的 7 脚~10 脚都有可能是被测芯片的接地脚,所以用了 3 个三极管来增大 7 脚~9 脚的驱动电流。

输入由 74HC245 通过 74HC139(A)地址译码,用数据存储器的读操作指令读取被测 IC 脚的数据。显示电路采用 3 个 BCD-7 段数码液晶驱动电路 CD4543 来完成。

测量范围: TTL74/54 系列(包括 74、74S、74LS、74ALS、74AC、74ACT、74HC、74HCT、74F、74FHC 以及与上述型号相对应的 54 系列产品),CMOS40 系列,CMOS45

系列。

2) 使用方法

(1) 接通电源, 将待测集成块脚“1”对准集成电路插座上的脚“1”恒定位置, 插入插座并锁紧。

(2) 连续按动“系列选择”键, 从 LCD 显示屏上选出所需的系列号, 如 74、40、45。

(3) 按动“型号测试”键, 对 IC 进行测试。如果 IC 性能合格, 仪器将显示其型号, 并鸣笛一声; 如果 IC 未能通过测试, 仪器将鸣笛 3 声 (LCD 仍然显示所选的系列号), 此时, 测试人应从插座上取下 IC, 认真检查所有管脚, 排除短路、断路及插座接触不良等故障后再次测试, 仍然不能通过测试的 IC, 应判为不合格。

(4) 多片同型号 IC 测量时, 应先按“型号测试”测出首片型号, 再按“性能测试”键, 测余下的 IC (在“性能测试”状态下, 仪器不再搜索 IC 型号, 因此测量时可大幅度节省时间和电池能量)。IC 性能合格时, 仪器将显示其型号; IC 性能不合格时, 仪器将显示“999”, 并鸣笛 3 声。

(5) 对于不知名的数字集成电路, 可以按 74、40、45 3 个系列分别进行测试, 最终将测出它的型号。

3) 注意事项

(1) 测量 IC 前, 应清理管脚, 排除可能造成接触不良的因素。

(2) 测量 IC 时, 应牢记“对号入座”, 避免 IC 插反。

(3) 仪器长期不用, 应打开后盖, 取出电池, 避免电池液流出腐蚀仪器。



参考文献

- [1] 聂在强,迟明亘. 实用无线电维修测试基础. 北京:机械工业出版社,1998.
- [2] 金正浩,高静,希林. 看样检测家用电器电子元器件. 北京:人民邮电出版社,2001.
- [3] 杨元挺,肖晓萍. 电子测量仪器. 北京:电子工业出版社,2002.
- [4] 王港元,等. 电子技能基础. 成都:成都科技大学出版社,1999.
- [5] 全国家用电器职业技能鉴定教材编委会. 家用电器产品维修工. 北京:人民邮电出版社,2002.
- [6] 无线电. 2000年—2004年合订本.
- [7] 电子报. 2000年—2004年合订本.
- [8] 电子制作. 2000年—2004年合订本.
- [9] 电子世界. 2000年—2004年合订本.